



TESIS - TE142599

MULTI OBJEKTIF *DIRECT CURRENT OPTIMAL POWER FLOW* PADA MICROGRID UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA PEMBANGKITAN DAN MEMAKSIMALKAN UMUR BATERAI

ANNISAA TARADINI
2215201206

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TE142599

**MULTI OBJEKTIF *DIRECT CURRENT OPTIMAL*
POWER FLOW PADA MICROGRID UNTUK
MEMINIMALKAN BIAYA PEMBANGKITAN DAN
MEMAKSIMALKAN UMUR BATERAI**

ANNISAA TARADINI
2215201206

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Annisaa Taradini
NRP. 2215201206

Tanggal Ujian : 12 Juni 2017
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

1. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. (Pembimbing I)
NIP: 197411292000121001
2. Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D (Pembimbing II)
NIP: 194907151974121001
3. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. (Penguji)
NIP: 197311192000031001
4. Dr. Ir. Soedibjo, M.MT. (Penguji)
NIP: 195512071980031004
5. Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D (Penguji)
NIP: 198006032006041003



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Pri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**MULTI OBJEKTIF *DIRECT CURRENT OPTIMAL POWER FLOW* PADA *MICROGRID* UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA PEMBANGKITAN DAN MEMAKSIMALKAN UMUR BATERAI**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 11 Mei 2016

Annisaa Taradini
2215201206

Halaman ini sengaja dikosongkan

MULTI OBJEKTIF *DIRECT CURRENT OPTIMAL POWER FLOW* PADA *MICROGRID* UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA PEMBANGKITAN DAN MEMAKSIMALKAN UMUR BATERAI

Nama mahasiswa : Annisaa Taradini
NRP : 2215201206
Pembimbing : 1. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
2. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.

ABSTRAK

Penelitian ini mengusulkan metode perhitungan optimasi pada *microgrid* dengan pembangkit yang terhubung pada grid diantaranya *photovoltaic* (PV), *distributed generator* (DG), dan *battery energy storage*. *Microgrid* dioperasikan terhubung dengan *utility grid*. Terdapat fungsi multi objektif pada perhitungan optimasi ini yaitu fungsi biaya pembangkitan dan umur baterai. Transaksi energi selama *charge* dan *discharge* pada baterai akan diperhatikan untuk memaksimalkan umur baterai. *Dynamic direct current optimal power flow* (DDCOPF) digunakan untuk menghitung optimasi pembangkitan agar biaya total pembangkitan dapat minimal dengan tetap memperhatikan batasan batasan operasi seperti kapasitas pembangkit, kapasitas saluran, *ramp rate* dan energi baterai serta akan melakukan pelepasan beban pada kondisi tertentu. Dengan demikian daya terbangkit dari energi terbarukan pada sistem *microgrid* dapat dimanfaatkan dengan maksimal. Optimasi akan dihitung dengan metode *quadratic programming*.

Kata kunci: baterai, DCOPF, *microgrid*, *quadratic programming*

Halaman ini sengaja dikosongkan

MULTI-OBJECTIVE DIRECT CURRENT OPTIMAL POWER FLOW IN MICROGRID TO MINIMIZE TOTAL COST AND MAXIMIZE BATTERY LIFETIME

By : Annisaa Taradini
Student Identity Number : 2215201206
Supervisor(s) : 1. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.
2. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D.

ABSTRACT

This research presents a calculation method to optimize grid-connected microgrid system with photovoltaic (PV), microturbine, diesel, and battery energy storage. A multi-objective function added in this research contains of generation cost function and battery lifetime. The energy transaction (charging and discharging condition) is minimized to maximize battery life time. Direct current optimal power flow (DCOPF) was used to determine generated power for each generator so that total generation cost is minimal, but still considering system constraints such as branch capacity, generator capacity, ramp rate, and energy of battery, and also system will perform a curtailment in certain condition. Therefore, generated power from renewable energy sources will be operated maximally. Optimization was calculated using quadratic programming

Key words: battery; dynamic OPF; microgrid; quadratic programming

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul :

“Multi Objektif *Direct Current Optimal Power Flow* pada *Microgrid* untuk Meminimalkan Biaya Pembangkitan dan Memaksimalkan Umur Baterai”

Tesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada bidang keahlian Teknik Sistem Tenaga, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan ucapan terima kasih yang sebesar besarnya kepada :

1. Ayah, Ibu, Kakak Dana dan Anindiva atas segala dukungan, doa dan kasih sayang yang tulus.
2. Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. dan Bapak Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi.
3. Seluruh dosen program pascasarjana teknik elektro bidang keahlian teknik sistem tenaga listrik yang telah memberikan banyak ilmu dan wawasan selama masa perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Rekan rekan S2 Genap 2015, Trisna, Mbak Niken, Mbak Lia, Mas Kintrung, Mas Iwan, Mas Wince, Mas Isa, Khalil, Pak Alfredo dan Pak Alfin yang telah menemani sejak awal perjalanan menempuh studi magister yang penuh drama dan wacana, suka duka dan segala gibah selama 1,5 tahun ini. ☺
5. Fadilla Indrayuni P. yang telah memberikan motivasi, inspirasi dan sarapan sehat.
6. Teman teman laboratorium PSSSL B103 atas ilmu dan diskusinya dan teman teman laboratorium KE B102.
7. Rekan-rekan pascasarjana teknik elektro bidang keahlian teknik sistem tenaga angkatan 2014, 2015 dan 2016.

Penulis menyadari bahwa penulisan tesis ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu, kritik dan saran sangat penulis harapkan guna menyempurnakan penulisan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, 21 Juli 2017

Annisaa Taradini

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Kontribusi	3
1.6 Metodologi Penelitian.....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 DDCOPF Menggunakan QP.....	5
2.1.1 Direct Current Optimal Power Flow (DCOPF)	5
2.1.2 Quadratic Programming (QP).....	7
2.2 Microgrid.....	7
2.2.1 Photo Voltaic (PV).....	8
2.2.2 Distributed Generator (DG)	9
2.2.3 Battery Energy Storage (BES).....	9
2.2.4 Grid PLN.....	11
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Penerapan Sistem Kelistrikan <i>Microgrid</i>	13
3.2 Metode Penyelesaian DDCOPF dengan <i>Quadratic Programming</i>	16
3.2.1 Variabel kontrol	19
3.2.2 Pembentukan Matriks A	19
3.2.3 Pembentukan Vektor <i>lb</i> dan <i>ub</i>	21
3.2.4 Pembentukan Matriks H dan Vektor G.....	21

3.2.5	Pembentukan Vektor x_{min} dan x_{max}	21
3.3	Metode Penyelesaian Multi Objektif dengan <i>Weighted Sum</i>	22
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		23
4.1	Kasus 1	23
4.2	Kasus 2	25
4.3	Kasus 3	27
4.4	Daya Terbangkit	28
4.5	Daya Beban	30
4.6	SOC Baterai.....	31
4.7	<i>Ramp Rate</i> dan Kapasitas Saluran.....	32
4.8	Fungsi Multi-Objektif.....	33
BAB 5 KESIMPULAN		39
DAFTAR PUSTAKA.....		41
DAFTAR LAMPIRAN		43

LIST OF TABLE

APPROVAL SHEET	iii
STATMENT OF ORIGINALITY	v
ABSTRACT.....	vii
ABSTRACT.....	ix
FOREWORDS	xi
LIST OF TABLE	xiii
LIST OF PICTURE	xvii
LIST OF TABLE	xix
CHAPTER 1 INTRODUCTION	1
1.1 General Background	1
1.2 Problem Formulation	2
1.3 Purpose.....	2
1.4 Problem Scope	3
1.5 Novelty.....	3
1.6 Research Methodology	4
CHAPTER 2 LITERATURE REVIEW	5
2.1 DDCOPF using QP	5
2.1.1 Direct Current Optimal Power Flow (DCOPF)	5
2.1.2 Quadratic Programming (QP)	7
2.2 Microgrid	7
2.2.1 Photo Voltaic (PV).....	8
2.2.2 Distributed Generator (DG)	9
2.2.3 Battery Energy Storage (BES)	9
2.2.4 Grid PLN.....	11
CHAPTER 3 METHODOLGY	13
3.1 Application of Microgrid Electrical System	13
3.2 DDCOPF Method using <i>Quadratic Programming</i>	16
3.2.1 Control Variable.....	19
3.2.2 Forming <i>A</i> Matrice	19
3.2.3 Forming <i>lb</i> and <i>ub</i> Vector	21
3.2.4 Forming <i>H</i> Matrice and <i>G Vector</i>	21

3.2.5	Forming x_{min} and x_{max} Vector	21
3.3	Solving Multi-Objective using Weighted Sum Method.....	22
CHAPTER 4 RESULT AND ANALYSIS		23
4.1	Case 1	23
4.2	Case 2	25
4.3	Case 3	27
4.4	Generated Power	28
4.5	Power Demmand	30
4.6	Battery State of Charge	31
4.7	Ramp Rate and Branch Capacity.....	32
4.8	Multi-Objective Function	33
CHAPTER 5 CONCLUSION		39
BIBLIOGRAPHY		41
APPENDIX LIST		43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Sistem IEEE 30 bus modifikasi	13
Gambar 3.2 Fungsi Biaya PLN	15
Gambar 3.3 Fungsi Biaya Diesel	16
Gambar 3.4 Fungsi Biaya Mikro Turbin.....	16
Gambar 3.5 Meminimalkan Transaksi Energi Baterai (ilustrasi)	17
Gambar 3.6 Sistem 3 Bus.....	20
Gambar 4.1 Kurva Beban Harian.....	23
Gambar 4.2 Permintaan Beban dan Daya Pembangkit Kasus 1	24
Gambar 4.3 Daya Baterai Kasus 1	24
Gambar 4.4 Daya pada Sistem Kasus 1	25
Gambar 4.5 Permintaan Beban dan Daya Pembangkit Kasus 2	25
Gambar 4.6 Baterai Kasus 2	26
Gambar 4.7 Daya Sumber dan Daya Beban Kasus 2.....	26
Gambar 4.8 Permintaan Beban dan Daya Pembangkit Kasus 3	27
Gambar 4.9 Baterai Kasus 3	27
Gambar 4.10 Daya Sumber dan Daya Beban Kasus 3.....	28
Gambar 4.11 Hasil Pembangkitan <i>Non Renewable</i> Kasus 1	28
Gambar 4.12 Hasil Pembangkitan <i>Non Renewable</i> Kasus 2	29
Gambar 4.13 Hasil Pembangkitan PV dan Baterai Kasus 1	29
Gambar 4.14 Hasil Pembangkitan PV dan Baterai Kasus 2	29
Gambar 4.15 Beban Kasus 3.....	31
Gambar 4.16 SOC Baterai Kasus 1	32
Gambar 4.17 SOC Baterai Kasus 2.....	32
Gambar 4.18 Pembebanan Saluran Kasus 1	33
Gambar 4.19 Pembebanan Saluran Kasus 2	33
Gambar 4.20 Total Energi Baterai Tiap Unit.....	35
Gambar 4.21 Estimasi Umur Baterai	35
Gambar 4.22 Operasi <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> Baterai Unit 1.....	36
Gambar 4.23 Operasi <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> Baterai Unit 2.....	36

Gambar 4.24 Operasi <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> Baterai Unit 3	36
Gambar 4.25 Operasi <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> Baterai Unit 4	37
Gambar 4.26 Operasi <i>Charging</i> dan <i>Discharging</i> Baterai Unit 5	37

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Daya Keluaran PV	14
Tabel 3.2 Data Baterai	14
Tabel 3.3 Data Diesel.....	14
Tabel 3.4 Data Mikroturbin	15
Tabel 4.1 Total Daya Kasus 1	30
Tabel 4.2 Total Daya Kasus 2	30
Tabel 4.3 Total Daya Kasus 3	30
Tabel 4.4 Pembobotan w_1 & w_2	34
Tabel 4.5 Biaya dan Total Daya Kasus 1 dan 2	34

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Microgrid merupakan salah satu sistem interkoneksi dengan berbagai macam sumber energy, melingkupi sumber energi fosil maupun energi terbarukan. Pembangkit yang terhubung pada *microgrid* berukuran kecil yaitu kurang dari 100 kW dan terletak dekat dengan beban. Sistem *microgrid* memiliki biaya operasi dan emisi yang rendah sehingga lebih menguntungkan dari segi biaya maupun dampak bagi lingkungan [1]. *Microgrid* dapat dioperasikan *hybrid*, *islanded*, atau terhubung dengan sistem interkoneksi yang lebih besar.

Dengan sifat energi terbarukan yang tidak stabil atau *intermittent*, perlu dilakukan studi lebih lanjut pada *microgrid*. Salah satu cara untuk mengatasi sifat *intermittent* pada sumber energi terbarukan adalah dengan penambahan peralatan *energy storage*. *Battery energy storage* dapat menyimpan energi listrik yang dibangkitkan oleh sumber energi terbarukan sekaligus dapat mensuplai daya ke beban. Penggunaan energi pada sistem *microgrid* dioptimasi dari segi biaya pembangkitan dengan beberapa metode diantaranya *mixed-integer* pada [2], *dynamic programming* [3], *linear programming* [4], *mixed-integer linear programming* [5] dan *decomposed formulation* [6]. Namun perlu diperhatikan pula mengenai efisiensi *battery energy storage* mengingat *energy storage* memiliki umur yang relatif pendek dan biaya yang relatif tinggi.

Penelitian ini mengusulkan optimasi pembangkitan pada *microgrid* yang terdiri dari pembangkit energi terbarukan PV, *distributed generator* berupa pembangkit diesel dan mikroturbin, dan *battery energy storage* dengan sistem terhubung dengan *utility grid*. Dilakukan perhitungan optimasi untuk memaksimalkan umur baterai. Terdapat banyak faktor yang mempengaruhi umur baterai misalnya korosi bahan, rugi rugi yang diakibatkan perubahan fisik pada baterai, temperatur penggunaan, siklus *charge-discharge*, dan lain lain. Optimasi umur baterai pada penelitian ini akan fokus pada jumlah transaksi energi yang berhubungan dengan kondisi *charge* dan *discharge* pada baterai. *Microgrid*

diharapkan dapat melayani beban yang beragam, termasuk beban yang membutuhkan kualitas daya yang tinggi. Maka dari itu, diperlukan strategi operasi pada sisi pembebanan seperti pelepasan beban untuk mendapatkan tegangan dan frekuensi yang stabil [7].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengoperasian paling optimal pada *microgrid* dengan memperhatikan umur baterai dan batasan operasi sistem seperti kapasitas saluran dan mekanisme pelepasan beban pada kondisi tertentu. Optimasi dilakukan dengan multi fungsi objektif yaitu biaya pembangkitan dan umur baterai dengan tetap memperhatikan batasan operasi. Optimasi diharapkan akan menghasilkan nilai pembebanan pembangkitan dengan biaya total yang minimal dan nilai transaksi energi pada baterai sehingga umur baterai dapat maksimal. *Dynamic Direct Current Optimal Power Flow* (DDCOPF) akan digunakan untuk mendapatkan nilai optimal pembangkitan masing masing pembangkit selama 24 jam menggunakan *Quadratic Programming* pada *grid-connected microgrid*.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ingin diselesaikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Program pembebanan ekonomis pembangkit menggunakan *dynamic optimal power flow* arus searah pada sistem *microgrid*
2. Pembebanan ekonomis pembangkit dengan memaksimalkan usia baterai
3. Pembebanan ekonomis pembangkit memperhatikan kapasitas saluran, kapasitas pembangkit, *ramp rate*, dan energi baterai
4. Pembebanan ekonomis pembangkit dengan mekanisme pelepasan beban pada kondisi tertentu

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat program pembebanan ekonomis pembangkit *dynamic optimal power flow* arus searah pada sistem *microgrid*.
2. Melakukan pembebanan ekonomis pembangkit yang juga dapat memaksimalkan usia baterai.
3. Mengetahui pengaruh batasan sistem terhadap pembebanan pembangkit.
4. Melakukan mekanisme pelepasan beban pada kondisi tertentu

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tegangan baterai konstan
2. Tidak memperhatikan peralatan elektronika daya
3. Beban dinamis selama 24 jam dengan selang waktu 1 jam
4. *Losses* jaringan diabaikan
5. Tidak mengoptimalkan penempatan *distributed generator*
6. Tidak terdapat prioritas bus untuk pelepasan beban
7. Menggunakan sistem 30 bus yang telah dimodifikasi

1.5 Kontribusi

Pada [7], dilakukan optimasi pada sistem transmisi yang terhubung dengan PV dan baterai selama 24 jam. Optimasi yang dilakukan hanya meminimalkan biaya pembangkitan tanpa memperhatikan karakteristik umur baterai. Hal ini berdampak pada peningkatan penggunaan baterai, dan dalam jangka panjang *life time* baterai akan lebih cepat habis. Mengingat baterai memiliki umur yang relatif pendek dan biaya investasi yang tinggi, maka optimasi penggunaan baterai perlu dilakukan

Kontribusi dalam penelitian ini adalah melakukan optimasi untuk meminimalkan biaya pembangkitan serta memaksimalkan umur baterai pada jaringan *microgrid* yang terhubung dengan grid dengan menggunakan *quadratic programming*.

1.6 Metodologi Penelitian

Penelitian ini mengenai *dynamic direct current optimal power flow (DDCOPF)* dengan memperhatikan batasan ramp rate generator, batasan saluran dan cadangan berputar serta pelepasan beban jika sistem tidak memenuhi batasan sistem. *Quadratic Programming* digunakan untuk menyelesaikan perhitungan *DDCOPF*. Perhitungan optimal *DDCOPF* akan disimulasikan dalam program *M-file*. Tahapan dalam pengerjaan penelitian ini adalah:

1. Studi literatur

Literatur yang digunakan mengacu pada *paper conference*, jurnal, dan buku cetak. Literatur yang dipelajari yaitu mengenai sistem *microgrid*, *optimal power flow*, energi terbarukan PV dan baterai, dan penggunaan *quadratic programming* pada *Matlab Matpower* untuk perhitungan *DDCOPF*.

2. Pengumpulan data

Data yang dibutuhkan yaitu data pembangkitan, data beban, dan data saluran. Data pembangkitan terdiri dari kapasitas pembangkitan, koefisien biaya, dan *ramp rate*. Data saluran terdiri dari impedansi dan kapasitas saluran. Data beban yaitu beban dinamis selama 24 jam dengan rentang waktu 1 jam.

3. Simulasi dan analisis

Simulasi dilakukan menggunakan *quadratic programming* pada *Matlab Matpower* dengan permasalahan dan batasan yang telah disebutkan di atas. Kemudian disimulasikan beberapa kondisi sistem dan dilakukan analisa.

4. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan, dilaporkan dalam bentuk laporan tesis dan dipublikasi pada seminar internasional. Laporan ditulis berdasarkan kesimpulan dan hasil analisis permasalahan beserta tahapan tahapannya.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 DDCOPF Menggunakan QP

Penelitian mengenai *Dynamic Direct Current Optimal Power Flow* (DDCOPF) menggunakan *quadratic programming* dilakukan pada 2013 [8]. Pada penelitian ini, dilakukan penyelesaian DDCOPF menggunakan *software Matlab*. DDCOPF digunakan untuk mencari nilai pembebanan pembangkit selama 24 jam. Penelitian ini kemudian dikembangkan dengan menambahkan batasan batasan sistem. Pada [9], dengan metode penyelesaian yang sama dipertimbangkan mekanisme *Take or Pay*, dan pada [10] terdapat penambahan kontingensi saluran. Ketiga penelitian tersebut menggunakan *plant* sistem transmisi IEEE 30 bus.

Penelitian dengan bidang yang sama selanjutnya yaitu menggunakan *plant microgrid*. Penelitian [6] menyelesaikan *economic dispatch* pada *plant microgrid* yang terhubung dengan beberapa *nanogrid* dan *AC grid*. Penelitian selanjutnya yaitu [3] merupakan perhitungan *optimal power flow* pada jaringan dengan PV dan baterai terhubung dengan *grid* utama menggunakan metode *dynamic programming*. Penelitian ini menghitung pembebanan pembangkit dan aliran daya pada sistem *microgrid* mempertimbangkan parameter *State of Charge* (SoC) dan *State of Health* (SoH) pada baterai. Tinjauan pustaka selanjutnya yaitu [7] membahas pengoperasian optimal menggunakan aliran daya arus searah, dengan algoritma *Cooperative Distributed Energy Scheduling* (CoDES).

Penelitian yang akan dikerjakan selanjutnya merupakan penerapan penelitian [8] pada sistem *microgrid*, dengan memaksimalkan usia baterai sehingga permasalahan menjadi permasalahan multiobjektif. Batasan batasan sistem akan dipertimbangkan seperti kapasitas saluran, kapasitas pembangkit, ramp rate, energi pada baterai dan mekanisme pelepasan beban.

2.1.1 Direct Current Optimal Power Flow (DCOPF)

Economic Dispatch merupakan metode awal untuk perhitungan pembagian pembebanan pembangkit, dengan harga pembangkitan yang minimal. Namun

perhitungan ED masih mengabaikan kapasitas saluran. *Optimal Power Flow* merupakan penggabungan antara ED dengan aliran daya sehingga didapatkan parameter saluran [11], [12]. OPF dapat diformulasikan dengan analisa aliran daya dc. Penggunaan aliran daya dc merupakan pendekatan dari aliran daya ac dengan waktu perhitungan yang lebih cepat dan perhitungan yang lebih mudah. Perhitungan aliran daya ac dapat dilihat pada persamaan (2.1)

$$P_{ij} = V_i^2 g_{ij} + V_i V_j (g_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + b_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)) \quad (2.1)$$

$$g_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} \quad (2.2)$$

$$b_{ij} = \frac{-x_{ij}}{r_{ij}^2 + x_{ij}^2} \quad (2.3)$$

Pendekatan aliran daya ac ke dc dilakukan dengan beberapa asumsi:

1. Rasio resistansi r_{ij} dan reaktansi x_{ij} pada sistem sangat besar, sehingga $g_{ij} \approx 0$
2. Nilai magnitudo tegangan diasumsikan 1 p.u
3. Perbedaan sudut tegangan sangat kecil sehingga $\cos(\delta_i - \delta_j) \approx 1$, $\sin(\delta_i - \delta_j) \approx \delta_i - \delta_j$

Sehingga persamaan 2.1 dapat disederhanakan menjadi:

$$P_{ij} = \frac{1}{x_{ij}} (\delta_i - \delta_j) \quad (2.4)$$

Pada [7] perbedaan hasil analisa aliran daya DC dan AC tidak begitu signifikan. Dengan permasalahan OPF selama 24 jam, diperlukan waktu penyelesaian yang cepat sehingga analisa aliran daya arus searah dapat digunakan untuk penyelesaian *optimal power flow*. Analisa aliran daya arus searah seperti persamaan 2.4 digunakan pada perhitungan *optimal power flow* dapat disebut juga dengan DCOPF. Penyelesaian DCOPF pada [11] diselesaikan dengan menggunakan *lagrangian multiplier*, dapat dituliskan pada persamaan sebagai berikut:

$$\min \sum_{i=1}^{N_{bus}} F_i(P_i) \quad (2.5)$$

$$\mathcal{L} = \sum_{i=1}^{N_{bus}} F_i(P_i) + \lambda^T ([B_x]\theta - (P_{gen} - P_{load})) + \lambda_{N_{bus}+1}(\theta_{refbus} - 0) \quad (2.6)$$

Terdapat matriks B_x yang merupakan bilangan negatif imajiner dari matriks Y_{bus} . Untuk menyelesaikan permasalahan optimasi dengan beban dinamis, DCOPF kemudian dikembangkan menjadi *dynamic* DCOPF atau pada penelitian ini disebut DDCOPF.

2.1.2 Quadratic Programming (QP)

Quadratic programming merupakan metode untuk menyelesaikan persamaan optimasi, dengan fungsi objektif berupa persamaan kuadrat. *Quadratic programming* diselesaikan dengan menggunakan Karush-Kuhn Tucker untuk mengubah persamaan menjadi persamaan linear dengan batasan operasi matematis [13]. Batasan linear dapat berupa persamaan atau pertidaksamaan. Fungsi objektif QP adalah sebagai berikut:

$$\text{Min } f(x) = \frac{1}{2}x^T Hx + gx \quad (2.7)$$

$$lb \leq Ax \leq ub \quad (2.8)$$

$$x_{min} \leq x \leq x_{max} \quad (2.9)$$

$$lb = ub = b_{eq} \quad (2.10)$$

$$Ax = b_{eq} \quad (2.11)$$

Hasil perhitungan *quadratic programming* yaitu menentukan nilai x sehingga menghasilkan fungsi objektif dengan nilai minimum.

2.2 Microgrid

Microgrid merupakan salah satu sistem kelistrikan pada jaringan distribusi yang mensuplai daya ke sejumlah kelompok beban baik industri maupun residensial, dan terhubung dengan sumber energi terbarukan seperti PV, *wind*

turbin, distributed generator (DG) dan peralatan penyimpan energi. Dengan menggunakan pembangkit tersebar dengan kapasitas yang tidak terlalu besar, letak energi listrik yang dibangkitkan akan lebih dekat dengan beban sehingga rugi rugi akan berkurang.

Terdapat beberapa metode operasi pada *microgrid* diantaranya *islanded*, *hybrid*, atau dapat juga terhubung dengan grid utama. Pada penelitian ini, pengoperasian *microgrid* akan terhubung dengan grid utama yaitu PLN. Dengan tipe operasi *grid-connected*, pembangkit tersebar yang terpasang tidak secara mandiri menanggung beban dalam sistem. Sumber energi terbarukan yang terhubung berupa PV, mikroturbin dan *battery energy storage* (BES), dan terdapat sumber energi konvensional berupa pembangkit listrik tenaga diesel.

2.2.1 *Photo Voltaic* (PV)

PV merupakan salah satu pembangkit energi terbarukan yang memanfaatkan cahaya sinar matahari. PV mengkonversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik tanpa menghasilkan gas buangan. Karakteristik dari PV dipengaruhi oleh iradiasi dan temperatur. Untuk mendapat parameter modul PV, PV diuji pada *standard test condition* (STC) yaitu daat iradiasi PV 1000 W/m² dan saat temperatur sel 25°. Daya output PV berdasarkan [14], [3] dapat dihitung menggunakan persamaan (2.12) dan (2.13) . Karena pada pengoperasiannya PV tidak menggunakan bahan bakar, maka biaya pembangkitan PV dapat diabaikan.

$$P_{pv} = \left(P_{STC} \times \frac{G_C}{G_{STC}} (1 - k(T_C - T_{STC})) \right) \times N_{PVs} \times N_{PVp} \quad (2.12)$$

$$T_C = \left(T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20}{0.8} \right) S \right) \quad (2.13)$$

dengan,

P_{pv} Daya keluaran PV

P_{STC} Daya maksimal keluaran PV saat STC

G_C Iradiasi aktual

G_{STC} Iradiasi saat STC 1000 W/m²

k	Koefisien temperatur (%/°C)
T _C	Temperatur sel
T _{STC}	Temperatur saat STC (25 °C)
N _{PVs}	Jumlah modul PV seri
N _{PVp}	Jumlah modul PV paralel
T _{amb}	Temperatur lingkungan
NOCT	<i>Nominal Operating Cell Temperature</i>
S	0-1 kW/m ²

2.2.2 Distributed Generator (DG)

DG yang digunakan yaitu berupa mikroturbin dan pembangkit diesel. Mikroturbin merupakan pembangkit yang memanfaatkan turbin gas kecepatan tinggi dengan daya keluaran antara 25-500 kW. Pembangkit diesel merupakan pembangkit konvensional yang menggunakan bahan bakar fosil sehingga masih menghasilkan emisi. Pembangkit diesel adalah jenis yang paling umum digunakan dalam teknologi *microgrid* saat ini. Biaya operasi pembangkit DG dinyatakan sebagai fungsi daya keluaran dan dapat dimodelkan dengan polinomial kuadrat seperti yang ditunjukkan oleh persamaan:

$$F(P_{MT}) = a_{MT}P_{MT}^2 + b_{MT}P_{MT} + c_{MT} \quad (2.14)$$

$$F(P_D) = a_DP_D^2 + b_DP_D + c_D \quad (2.15)$$

dengan,

F(P _{MT})	Fungsi biaya mikroturbin
a _{MT} , b _{MT} , c _{MT}	Koefisien biaya mikroturbin
P _{MT}	Daya keluaran mikroturbin
F(P _D)	Fungsi biaya diesel
a _D , b _D , c _D	Koefisien biaya diesel
P _D	Daya keluaran diesel

2.2.3 Battery Energy Storage (BES)

Energi yang dihasilkan oleh PV tidak selalu stabil melainkan berfluktuasi tergantung pada intensitas penyinaran matahari atau disebut dengan *intermittent*.

Sifat *intermittent* pada PV akan mengakibatkan ketidakstabilan penyaluran daya pada sistem. Menambahkan peralatan penyimpan energi pada sistem dengan pembangkit energi terbarukan merupakan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan daya terbangkit yang tidak menentu [3]. Terdapat beberapa teknologi penyimpanan energi seperti *flywheel*, SMES, CAES, *Lead-Acid battery* dan lain lain. Pada penelitian ini digunakan *lead-acid battery* sebagai penyimpanan energi. *Battery bank* merupakan perangkat elektrokimia yang dapat menyimpan energi baik dari sumber AC maupun DC dan dapat digunakan untuk *supply* beban. Kondisi baterai saat menyuplai beban yaitu *discharge* dan saat baterai menyimpan energi, baterai dalam kondisi *charge*..

Dengan biaya investasi dan perawatan baterai yang tidak murah, maka perlu dilakukan perhitungan optimasi penggunaan baterai. Akumulasi energi yang masuk dan keluar baterai juga akan mempengaruhi umur baterai tersebut [15].

Baterai mempunyai batas arus *charging* dan *discharging*, kemudian dapat didapatkan daya *charging* dan *discharging* maksimal. Kondisi baterai dapat dimodelkan secara matematis dengan *State of Charge* (SOC). SOC merupakan estimasi kondisi baterai, salah satu pemodelan matematis SOC yaitu menggunakan kapasitas baterai. SOC minimal baterai yang diperbolehkan yaitu 20% sedangkan SC maksimal yaitu 100%. Ketika SOC mencapai 20% maka baterai tidak akan menyuplai energi ke sistem, dan saat SOC mencapai 100% maka baterai akan menolak untuk mengisi dayanya [15].

Kondisi baterai tersebut dapat modelkan menjadi persamaan matematis dengan fungsi waktu sebagai berikut:

$$SOC = \frac{C(t)}{C_{ref}} \quad (2.16)$$

$$C(t) = \frac{Ah(0) - Ah(t)}{C_{ref}} \quad (2.17)$$

$$SOC_{min} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (2.18)$$

$$E_{ES \min} \leq E_0 - \sum_{t=1}^T E_{ES}(t) \leq E_{ES \max} \quad (2.19)$$

$$E_{ES}(t) = P_{ES}(t) \times h \quad (2.20)$$

$$-P_{ES,ch,max}(t) \leq P_{ES}(t) \leq P_{ES,ds,max}(t) \quad (2.21)$$

Keterangan :

$P_{ES,ch,max}$	Batas daya yang diserap saat keadaan <i>charge</i>
P_{ES}	Daya output baterai
$P_{ES,ds,max}$	Batas daya terbangkitkan saat keadaan <i>discharge</i>
$E_{ES,min}$	Batas bawah baterai dalam satuan energi
E_{ES}	Energi keluaran baterai saat
$E_{ES,max}$	Batas atas baterai dalam satuan energi
K	Konstanta konversi <i>watt</i> ke <i>joule</i> yang bernilai 3600
t	Waktu optimasi
$C(t)$	Kapasitas baterai saat t (Ah)
$C_{ref}(t)$	Kapasitas baterai (Ah)

2.2.4 Grid PLN

Dalam system grid-connected ini, PLN diintegrasikan ke *microgrid* dan terdapat mekanisme pembelian daya ke PLN.

$$F(P_{PLN}) = \left(\frac{1}{K}\right) P_{PLN} \quad (2.22)$$

Keterangan:

l	Harga listrik per kWh (IDR/kWh)
K	kurs IDR ke USD
P_{PLN}	Daya terbangkit dari PLN (kW)

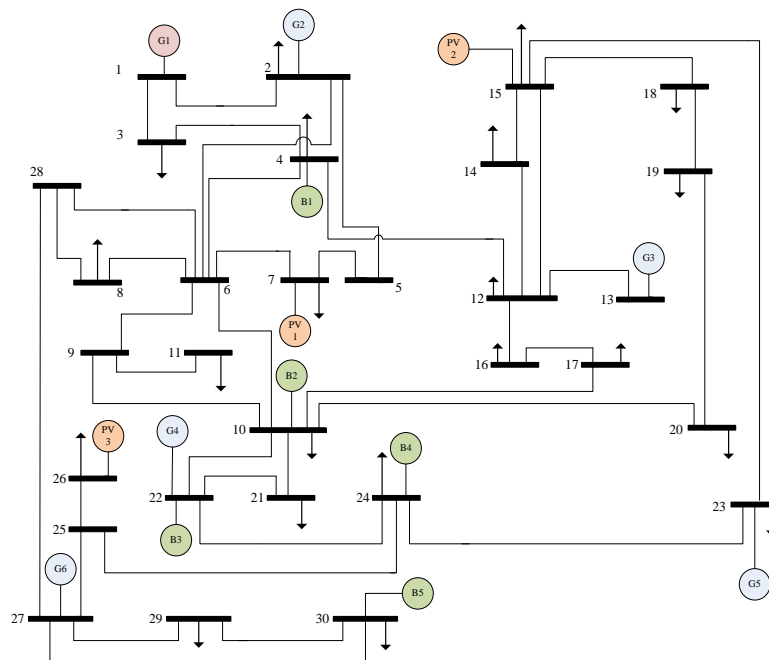
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Penerapan Sistem Kelistrikan *Microgrid*

Penelitian ini menggunakan sistem pengujian IEEE 30 bus yang telah dimodifikasi sebagai representasi jaringan kelistrikan *grid-connected microgrid* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Sistem IEEE 30 bus modifikasi

Sistem ini memiliki 4 jenis pembangkit yaitu *battery energy storage*, pembangkit diesel, mikroturbin, dan PV. Pada bus 1 sistem terhubung dengan *main grid* (PLN).

– Data PV

Dalam penelitian ini, digunakan modul sel surya yang terinstal pada Gedung AJ Teknik Elektro ITS dengan kapasitas 8 unit *polycrystalline* 80 watt dan 4 unit *monocrystalline* 65 watt. Daya keluaran PV pada Tabel 3.1 :

Tabel 3.1 Daya Keluaran PV

Jam	P _{out} (watt)	Jam	P _{out} (watt)	Jam	P _{out} (watt)
01	0	09	432	17	72
02	0	10	540	18	12
03	0	11	720	19	0
04	0	12	732	20	0
05	0	13	708	21	0
06	12	14	636	22	0
07	60	15	516	23	0
08	84	16	324	24	0

Rangkaian PV kemudian disusun sejumlah 100 unit rangkaian pada bus , 120 unit rangkaian pada bus dan 80 unit rangkaian pada bus .

– Data *battery energy storage*

Digunakan baterai *lead-acid* MT122050FT dengan kapasitas 250Ah, 12 V, arus *charging* maksimal yaitu 61.5 A dan arus *discharging* maksimal yaitu 117 A. Baterai terhubung pada bus 4, 10, 22, 24 dan 30. Jumlah baterai yang disusun paralel (N_p), disusun seri (N_s) dan SOC awal masing masing baterai dapat dilihat pada Tabel 3.2:

Tabel 3.2 Data Baterai

Bus	N _p	N _s	SOC awal
4	12	6	0.2
10	8	6	0.4
22	10	6	0.6
24	9	6	0.8
30	8	6	1

– Data pembangkit diesel

Digunakan pembangkit diesel dengan rincian pada Tabel 3.3:

Tabel 3.3 Data Diesel

Bus	P _{min} (kW)	P _{max} (kW)	Koefisien Biaya Pembangkitan		
			a	b	c
13	74.5	86	0.11	8	1.52
22	52	97	0.0945	3	1.71
23	56	82	0.0915	1.2	1.45

- Data mikroturbin

Digunakan pembangkit mikro turbin dengan rincian pada Tabel 3.4:

Tabel 3.4 Data Mikroturbin

Bus	Kapasitas (kW)	Koefisien Biaya Pembangkitan		
		a	b	c
2	65	0.0425	0.12	2.13
27	30	0.049	0.08	1.2

- *Main grid* (PLN)

Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah perusahaan yang melayani aspek kelistrikan di Indonesia. PLN diasumsikan sebagai generator dan mempunyai daya yang terbatas sebesar 100 kW dengan adanya trafo yang menghubungkan jaringan PLN ke jaringan *micro grid*. PLN memiliki fungsi biaya tersendiri.

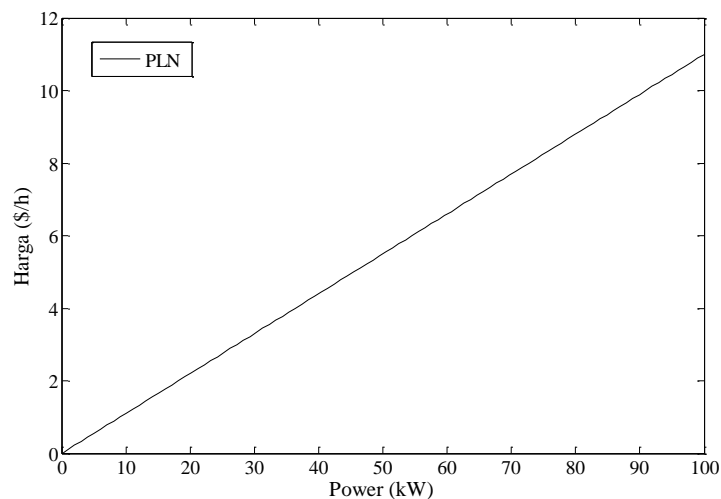
Berikut perhitungan cost function dari Perusahaan Listrik Negara (PLN):

Harga listrik per kwh (l) : Rp. 1,400

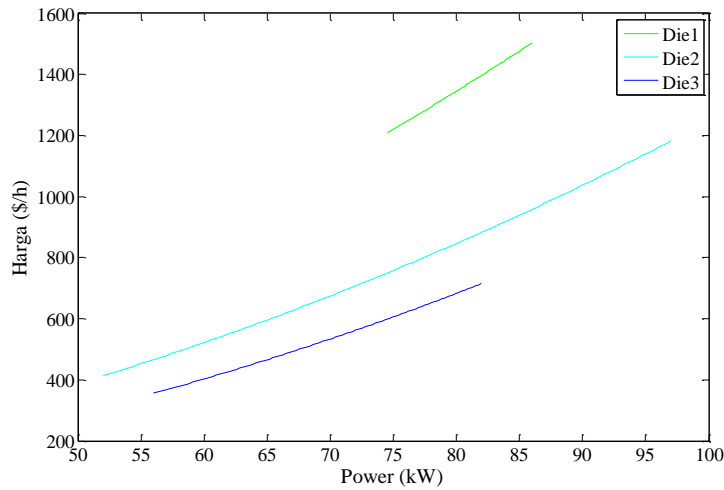
Kurs IDR ke USD (K) : Rp. 13,000

Cost Function ($CF(P_{PLN})$) : $\frac{1}{K}$

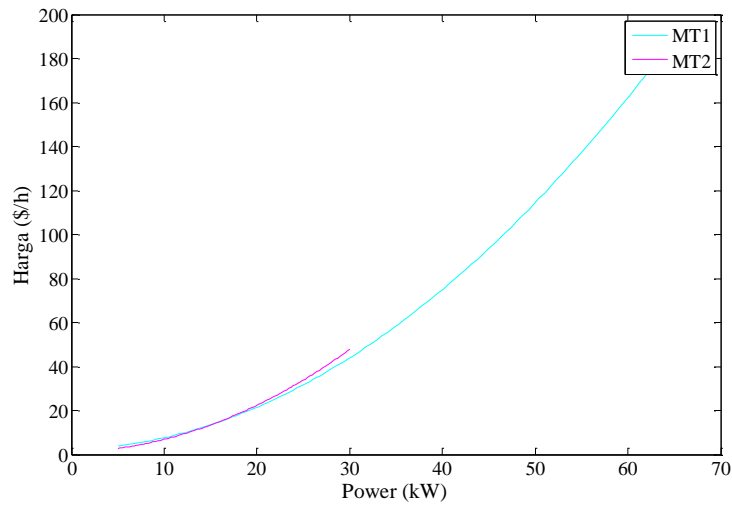
Fungsi biaya seluruh sumber listrik dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 3.2 Fungsi Biaya PLN



Gambar 3.3 Fungsi Biaya Diesel



Gambar 3.4 Fungsi Biaya Mikro Turbin

3.2 Metode Penyelesaian DDCOPF dengan *Quadratic Programming*

Dengan adanya pembangkitan dari beberapa jenis pembangkit maka fungsi biaya pembangkit menjadi:

$$F(P) = F(P_D) + F(P_{MT}) + F(P_{PLN}) \quad (3.1)$$

Pada penelitian ini, akan ditambahkan mekanisme pelepasan beban ketika sistem tidak dapat memenuhi batasan. Persamaan pelepasan beban dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\sum_{i=1}^N k \Delta P_{Li}^t \quad (3.2)$$

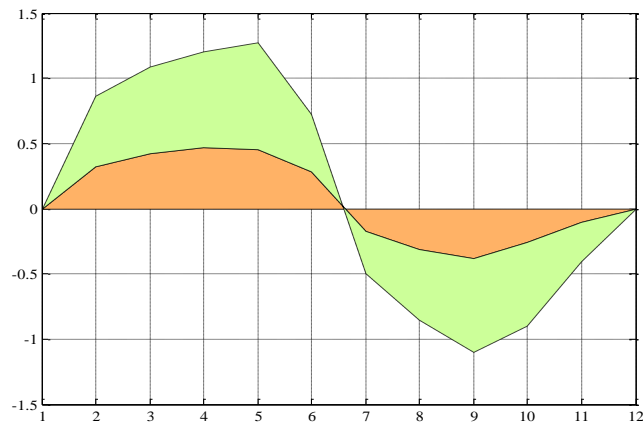
Sehingga fungsi objektif biaya pembangkitan menjadi sebagai berikut:

$$\text{Minimize } \sum_{t=1}^T (F(P)) + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N k \Delta P_{Li}^t \quad (3.3)$$

dengan,

- T Jumlah rentang waktu beban
- N Jumlah bus
- P_L Daya pada *load bus*
- k Konstanta biaya pelepasan beban

Untuk memaksimalkan umur baterai, penggunaan baterai akan diminimalkan. Dengan mengurangi penggunaan baterai diharapkan baterai akan tetap awet dan akan dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama dibandingkan ketika baterai digunakan secara terus menerus. Digunakan pendekatan dengan meminimalkan transaksi energi pada baterai untuk meminimalkan penggunaan baterai, diilustrasikan pada Gambar 3.5. Area berwarna hijau menunjukkan total daya *charging* (bagian negatif sumbu y) dan *discharging* (bagian positif sumbu y), yang kemudian diminimalkan menjadi seperti area yang berwarna oranye. Pada hal ini, kondisi *charging* dan *discharging* akan diminimalkan.



Gambar 3.5 Meminimalkan Transaksi Energi Baterai (ilustrasi)

Batasan sistem yang perlu diperhatikan diantaranya:

- *Equality Constraints*

Active Power Balance

$$P_{Li}^t - P_{Gi}^t + P_{IN\ i}^t = 0 \quad (3.4)$$

$$P_{IN}^t = \sum \frac{1}{x_{ij}} [\theta_i - \theta_j] \quad (3.5)$$

- *Inequality Constraints*

Kapasitas saluran transmisi

$$|P_{ij}^t| \leq P_{ij} \quad (3.6)$$

Daya pembangkitan

$$P_{Gi\ min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi\ max} \quad (3.7)$$

Ramp rate

$$-\delta_i \leq P_{Gi}^{t+1} - P_{Gi}^t \leq \delta_i \quad (3.8)$$

Kapasitas pembangkit

$$P_{Gi\ min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi\ max} \quad (3.9)$$

Kapasitas baterai

$$-P_{ch\ min} \leq P_{ES} \leq P_{dch\ max} \quad (3.10)$$

Keterangan :

P_{IN}^t Daya yang mengalir pada saluran saat waktu ke- t

P_{Gi}^t Daya yang dibangkitkan pada bus i saat waktu ke- t

P_{Li}^t Daya beban pada bus i saat waktu ke- t

x_{ij} Impedansi saluran antara bus i and j

$\theta_{i,j}$ Sudut tegangan pada bus i,j

δ_i *Ramp rate* generator i

P_{ij} Daya mengalir pada bus i ke j

$P_{Gi\ min}$ Daya minimal generator i

$P_{Gi \max}$ Daya maksimal generator i

$P_{ch \min}$ Daya *charging* minimal baterai

$P_{dch \max}$ Daya *charging* maksimal baterai

Fungsi objektif dan batasan pada DDCOPF akan diinisiasikan dengan fungsi objektif dan batasan pada *quadratic programming*, sehingga permasalahan DCOPF akan dapat diselesaikan dengan *quadratic programming*.

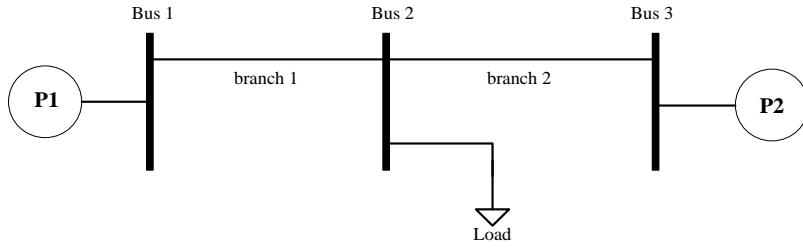
3.2.1 Variabel kontrol

Variabel yang dioptimasi disebut dengan variabel kontrol. Pada permasalahan DDCOPF, variabel kontrol berupa sudut tegangan, daya pembangkitan generator dan daya pada *load bus*. Sedangkan pada *quadratic programming*, variabel yang dikontrol adalah nilai x .

$$x = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \vdots \\ \theta_{nb} \\ P_{Gi} \\ \vdots \\ P_{Gng} \\ P_{Li} \\ \vdots \\ P_{Lnlb} \end{bmatrix}$$

3.2.2 Pembentukan Matriks A

Pada persamaan (2.8) dan (2.9) *quadratic programming* koefisien A merupakan matriks yang berisi batasan dengan koefisien orde satu dari variabel kontrol DCOPF, seperti persamaan *power balance*, kapasitas saluran dan *ramp rate*. Tersusun dari dua jenis batasan, yaitu *equality constraint* (A_{eq}) dan *inequality constraint* (A_{ineq}). Sebagai contoh digunakan sistem 3 bus seperti pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.6 Sistem 3 Bus

$$A = \begin{bmatrix} A_{eq} \\ A_{ineq} \end{bmatrix}$$

$$A_{eq} = \begin{bmatrix} y_{11} & 0 & -y_{13} & -1 & 0 \\ 0 & y_{22} & -y_{23} & 0 & -1 \\ -y_{13} & -y_{23} & y_{33} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_{ineq \text{ branch}} = \begin{bmatrix} y_{13} & 0 & -y_{13} & 0 & 0 \\ 0 & y_{23} & -y_{23} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$A_{ineq \text{ RR}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}}_{\text{Level } t} \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}}_{\text{Level } t+1}$$

$$A_{ineq \text{ batt limit}} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}}_{\text{Level } t} \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}}_{\text{Level } t+1}$$

Matriks A secara keseluruhan disusun sebagai berikut:

A =	A_{eq}^1						0	0	0	0	0	0
							0	0	0	0	0	0
							0	0	0	0	0	0
	$A_{ineq\ branch}^1$						0	0	0	0	0	0
							0	0	0	0	0	0
							0	0	0	0	0	0
							0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	A_{eq}^2					
	0	0	0	0	0	0						
	0	0	0	0	0	0						
	0	0	0	0	0	0	$A_{ineq\ branch}^2$					
	0	0	0	0	0	0						
	0	0	0	0	0	0						
	0	0	0	0	0	0						
	Ramp Rate											
	Battery Energy Limit											

3.2.3 Pembentukan Vektor lb dan ub

Vektor lb dan ub pada qp merupakan batas atas dan batas bawah batasan sistem pada DCOPF. Panjang vektor lb dan ub adalah sepanjang baris matriks A .

$$lb = \left[\begin{array}{c} 0^1 \\ 0^1 \\ P_{L3}^1 \\ -P_{13}^1 \\ -P_{23}^1 \\ 0^2 \\ 0^2 \\ P_{L3}^2 \\ -P_{13}^2 \\ -P_{23}^2 \\ -RR^{12} \\ E_{min} - E_0 \\ E_{min} - E_0 \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{l} \text{Power balance at} \\ \text{level 1} \\ \text{Branch capacity at} \\ \text{level 1} \\ \text{Power balance at} \\ \text{level 2} \\ \text{Branch capacity at} \\ \text{level 2} \\ \text{Ramp rate level 1-2} \\ \text{Energy limit} \end{array} \right. \left[\begin{array}{c} 0^1 \\ 0^1 \\ P_{L3}^1 \\ P_{13}^1 \\ P_{23}^1 \\ 0^2 \\ 0^2 \\ P_{L3}^2 \\ P_{13}^2 \\ P_{23}^2 \\ RR^{12} \\ E_{max} - E_0 \\ E_{max} - E_0 \end{array} \right] = ub$$

3.2.4 Pembentukan Matriks H dan Vektor G

Matriks H merupakan koefisien orde dua variabel kontrol dari fungsi objektif. Sedangkan vektor G merupakan koefisien orde satu variabel kontrol. Pada DCOPF koefisien orde dua variabel kontrol yaitu koefisien a biaya pembangkitan, dan koefisien orde satu variabel kontrol yaitu berupa koefisien b biaya pembangkitan. Sehingga matriks H akan berisi koefisien a biaya pembangkitan tiap pembangkit dan vektor G akan berisi koefisien b biaya pembangkitan.

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_1^1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_2^1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$G^T = [0 \quad 0 \quad 0 \quad b_1^1 \quad b_2^1 \quad 0]$$

3.2.5 Pembentukan Vektor x_{min} dan x_{max}

Vektor x_{min} dan x_{max} merupakan batas atas dan batas bawah dari variabel kontrol. Pada DCOPF variabel kontrol yaitu berupa sudut tegangan, daya terbangkit generator, dan daya pada *load bus*. Sehingga vektor x_{min} dan x_{max} akan berisi batas atas dan batas bawah variabel tersebut.

$$x = \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ P_{\text{gen}} \\ P_{\text{ES}} \\ P_{\text{load}} \end{bmatrix} \quad x_{\text{min}} = \begin{bmatrix} -\text{inf} \\ -\text{inf} \\ -\text{inf} \\ P_{\text{gen min}} \\ P_{\text{ES min}} \\ 0 \end{bmatrix} \quad x_{\text{max}} = \begin{bmatrix} \text{inf} \\ \text{inf} \\ \text{inf} \\ P_{\text{gen max}} \\ P_{\text{ES max}} \\ P_{\text{load}} \end{bmatrix}$$

3.3 Metode Penyelesaian Multi Objektif dengan *Weighted Sum*

Pada optimasi multi objektif, hasil satu fungsi objektif dengan fungsi objektif yang lainnya adalah berkebalikan. Ketika meminimalkan salah satu fungsi objektif, maka hasil fungsi objektif yang lain akan meningkat, sehingga tidak mungkin untuk mencapai fungsi objektif yang seluruhnya minimal.

Metode *weighted sum* merupakan metode yang menggabungkan dua atau lebih fungsi objektif menjadi satu kesatuan. Metode ini dilakukan dengan cara menambahkan koefisien pembobot w_n pada masing-masing fungsi objektif $f(P)_n$. Nilai koefisien pembobot yang digunakan merupakan nilai yang ditentukan dari proporsi relatif dari masing-masing fungsi objektif. Persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan fungsi multi objektif dirumuskan dalam persamaan (3.11).

$$\min\{F(P)\} = \min \left\{ \sum_{n=1}^k w_n s_n f(P)_n \right\} \quad (3.11)$$

Persamaan (3.11) dapat terpenuhi bila memenuhi syarat:

$$\sum_{n=1}^k w_n = 1 \quad (3.12)$$

Hasil fungsi multi-objektif nilai masing masingnya dapat bervariasi dengan rentang yang cukup signifikan, hal ini dapat membuat perhitungan tidak menemukan titik optimal. Oleh karena itu, diperlukan adanya koefisien normalisasi s_n . Terdapat beberapa cara untuk menentukan koefisien s_n , pada penelitian ini koefisien didapat dengan mencari nilai optimal $f(P_{\text{optimal}})_n$ masing masing fungsi objektif. Nilai dari s_n adalah $\frac{1}{f(P_{\text{optimal}})_n}$

BAB 4

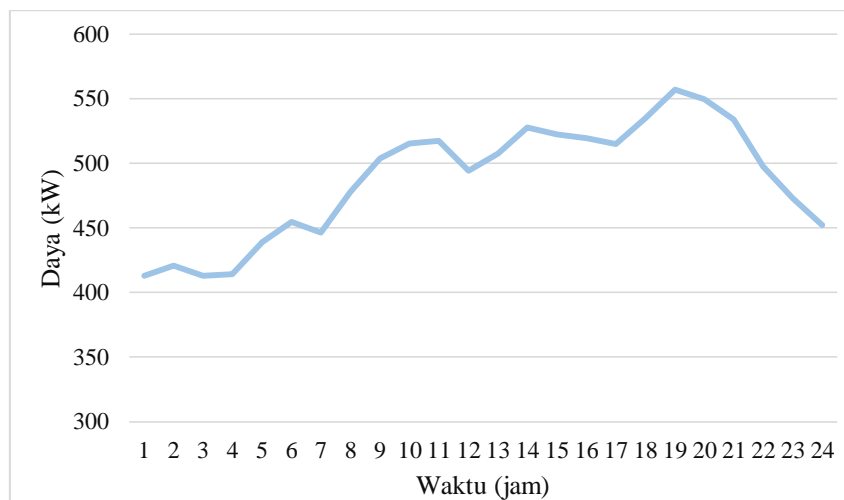
HASIL DAN PEMBAHASAN

Program simulasi DDCOPF pada sistem *microgrid* meminimalkan biaya serta memaksimalkan usia baterai berbasis M-file telah dibuat. Program kemudian diuji pada 3 studi kasus sebagai berikut:

1. Mengoptimasi total biaya pembangkitan
2. Mengoptimasi total biaya pembangkitan dan umur baterai
3. Pelepasan beban

Hasil simulasi kemudian akan dianalisa untuk mengetahui pengaruh batasan batasan sistem, pengaruh penambahan fungsi objektif, dan penyebab pelepasan beban.

Kurva beban 24 jam yang digunakan menggunakan karakteristik kurva beban harian Jawa-Bali secara umum dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan untuk selengkapnya dapat dilihat pada lampiran Tabel 1.

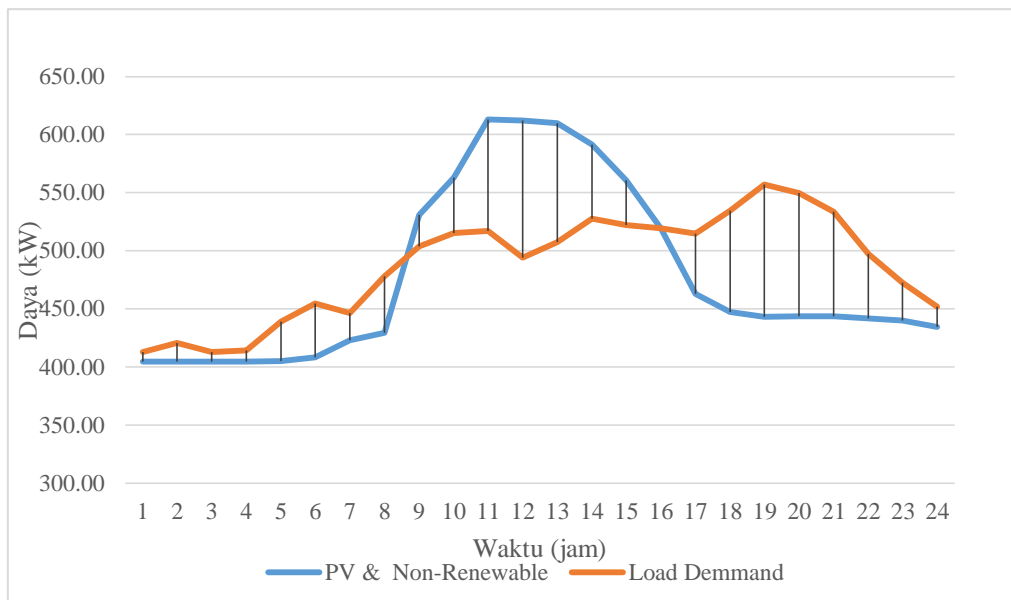


Gambar 4.1 Kurva Beban Harian

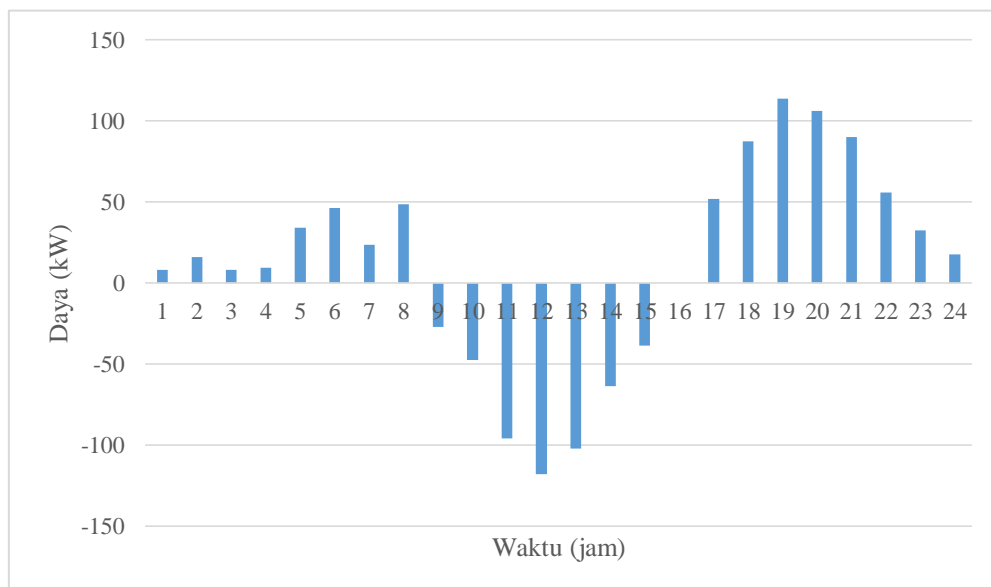
4.1 Kasus 1

Pada gambar 4.2 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan antara permintaan beban dan total daya terbangkit yang berasal dari PV dan pembangkit *non renewable* (PLN, mikroturbin, dan diesel). Ketika permintaan beban melebihi daya

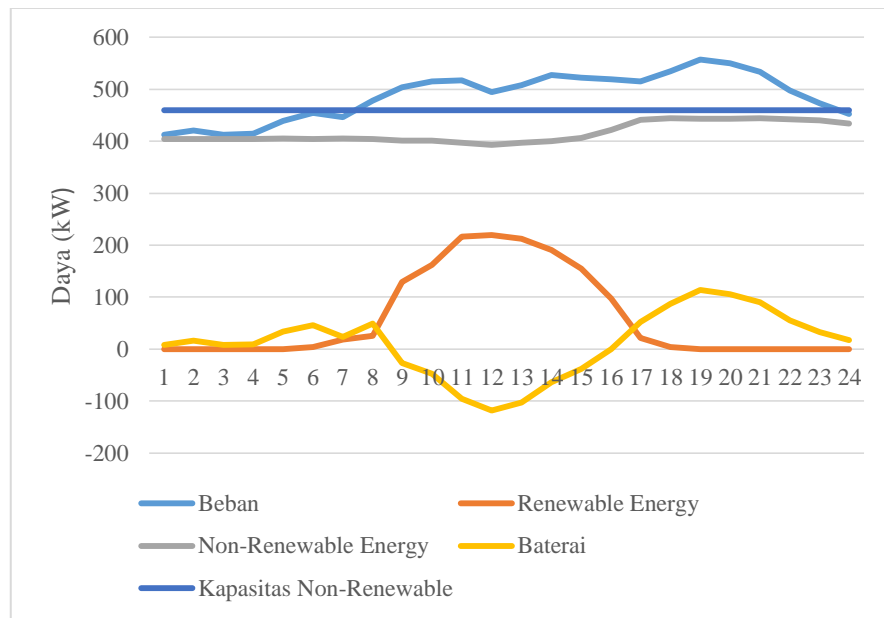
terbangkit, maka kekurangan daya akan disuplai oleh baterai, sedangkan ketika daya terbangkit lebih dari permintaan beban, maka selisih daya akan digunakan untuk *charging* baterai. Karena kapasitas pembangkit non renewable tidak mencukupi untuk memenuhi kebutuhan beban pada malam hari (gambar 4.4), maka beban puncak diatasi oleh baterai yang telah di *charge* sebelumnya saat siang hari (gambar 4.3). Pada hal ini dapat dikatakan baterai berfungsi sebagai *load shaving*.



Gambar 4.2 Permintaan Beban dan Daya Pembangkit Kasus 1



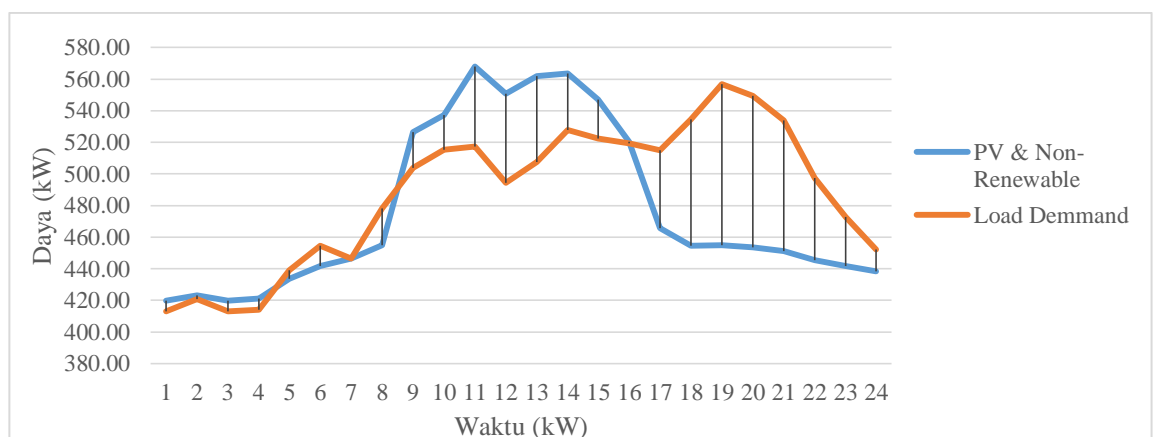
Gambar 4.3 Daya Baterai Kasus 1



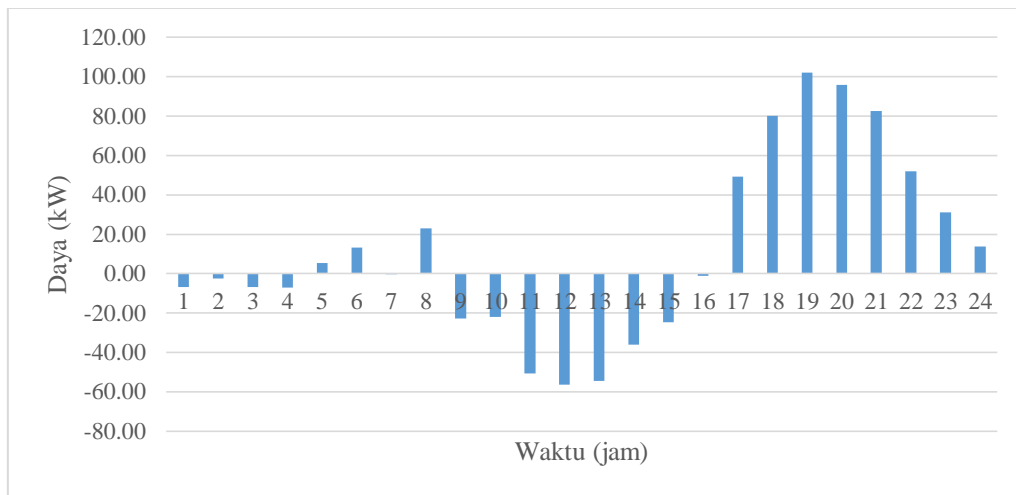
Gambar 4.4 Daya pada Sistem Kasus 1

Karena sifat PV *intermiten*, maka PV menghasilkan daya hanya ketika ada matahari, yaitu pukul 6 pagi hingga 6 sore. Walaupun terdapat tambahan daya dari PV, sumber *non renewable* pada siang hari tetap membangkitkan daya yang tinggi. Hal ini dilakukan selain untuk *charging* agar baterai dapat memenuhi kebutuhan beban pada malam hari, juga untuk menjaga efisiensi dari pembangkit. Pembangkit lebih efisien ketika membangkitkan daya sesuai ratingnya dibandingkan ketika harus membangkitkan daya yang kecil.

4.2 Kasus 2

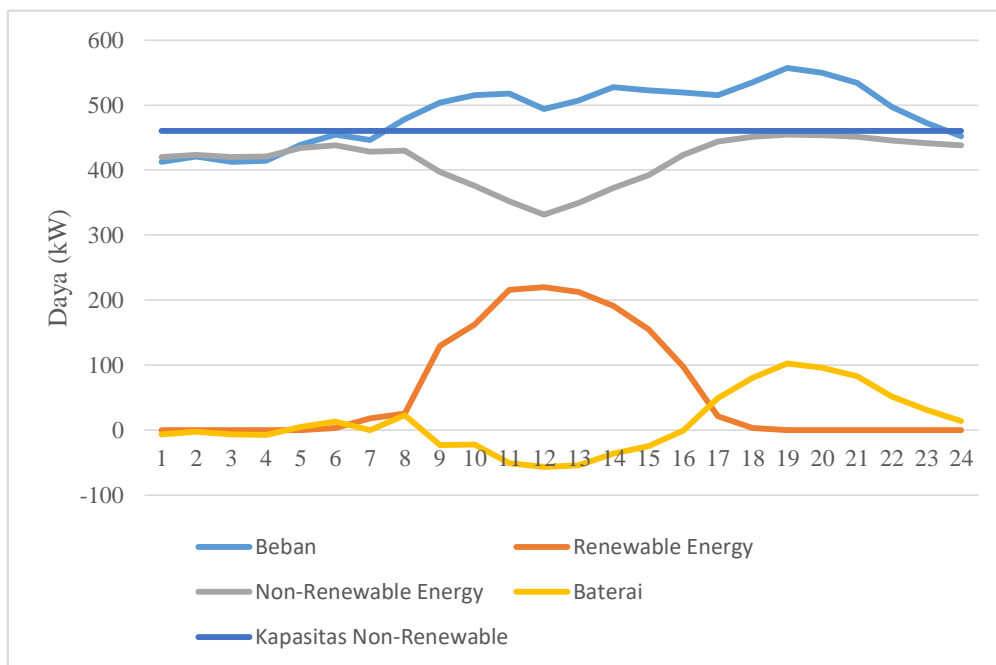


Gambar 4.5 Permintaan Beban dan Daya Pembangkit Kasus 2



Gambar 4.6 Baterai Kasus 2

Untuk kasus 2 dapat dilihat pada gambar 4.5-4.7. Pola operasi pada kasus 2 mirip seperti pada kasus 1, namun proses *charging* dan *discharging* pada kasus 1 diminimalkan pada kasus 2 untuk meminimalkan transaksi energi baterai sehingga baterai akan dapat digunakan untuk jangka waktu yang lebih lama.



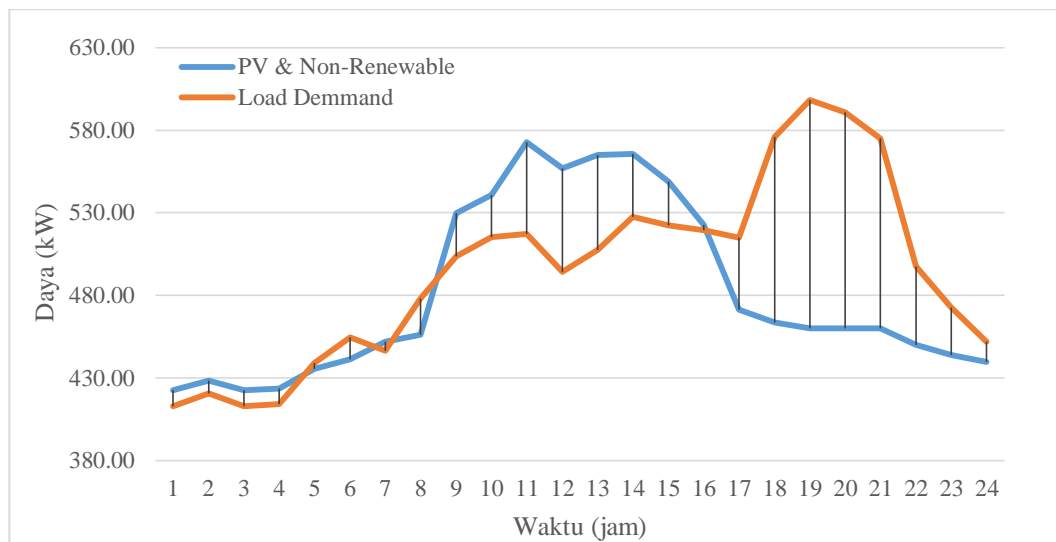
Gambar 4.7 Daya Sumber dan Daya Beban Kasus 2

Dengan meminimalkan daya *charging* baterai, maka daya terbangkit dari sumber *non renewable* pada siang hari (gambar 4.8) menjadi lebih minimal

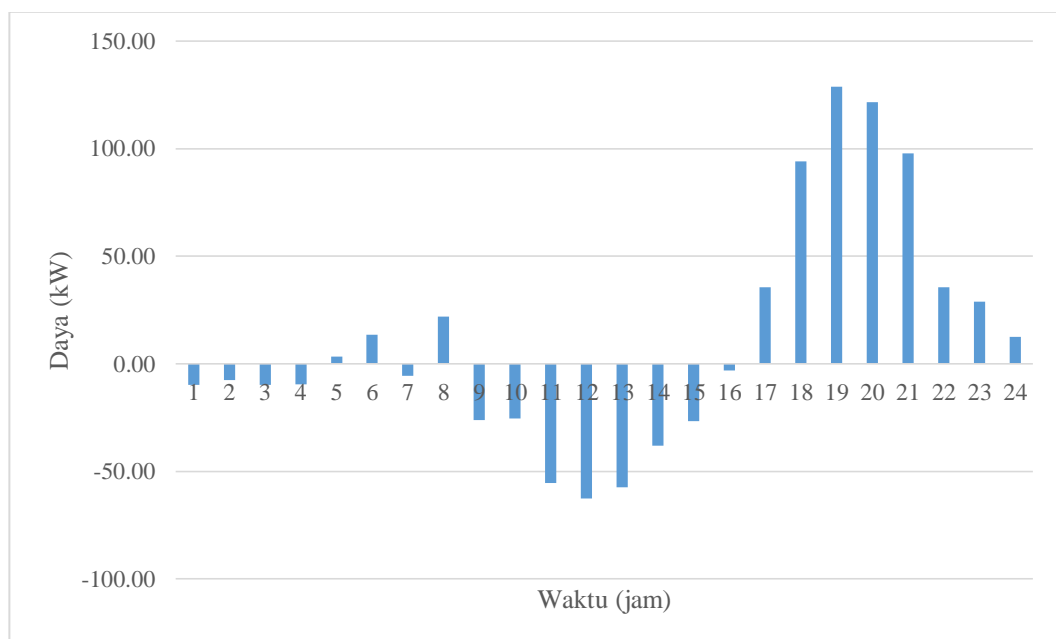
dibandingkan pada kasus 1, sehingga dapat dikatakan efisiensi dari pembangkit termal lebih efisien ketika tidak mengoptimalkan *life time* baterai.

4.3 Kasus 3

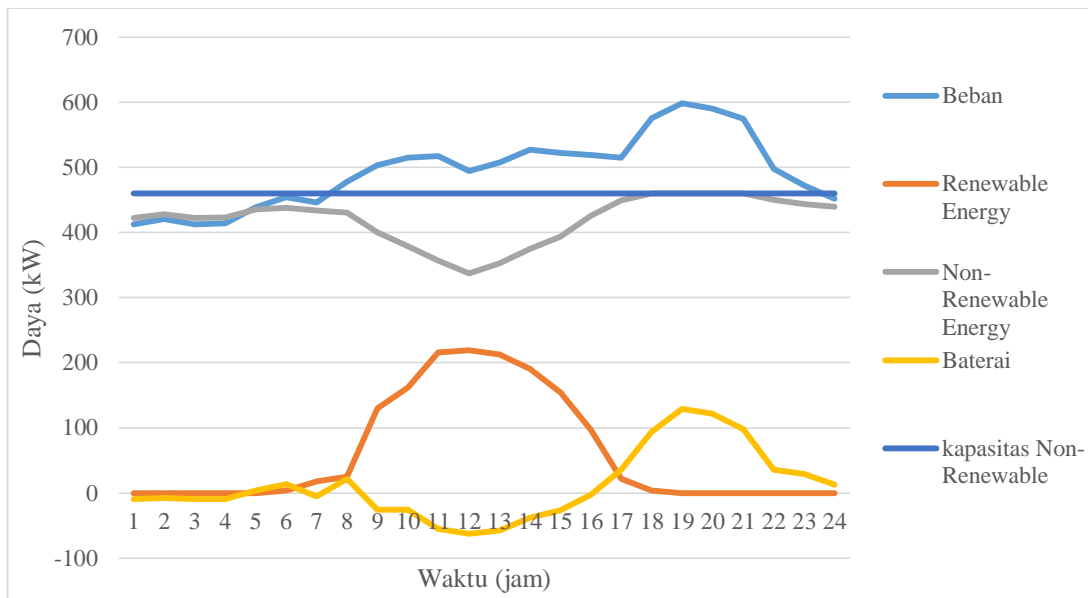
Sedangkan untuk kasus 3 dapat dilihat pada gambar 4.8 - 4.10. Hasil pada kasus 3 serupa dengan kasus 2, namun terdapat beban yang tidak mampu disuplai oleh sistem. Hal ini akan dibahas pada sub bab 4.5.



Gambar 4.8 Permintaan Beban dan Daya Pembangkit Kasus 3



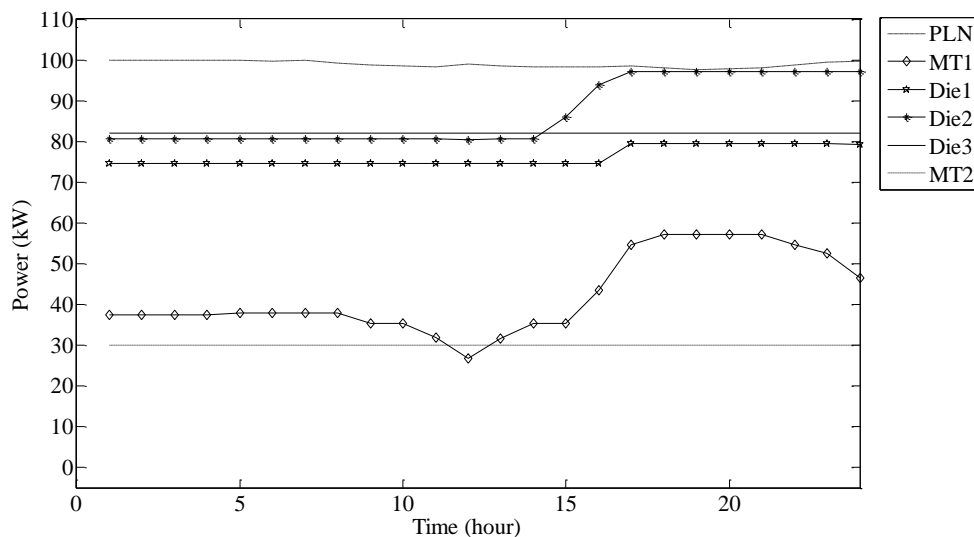
Gambar 4.9 Baterai Kasus 3



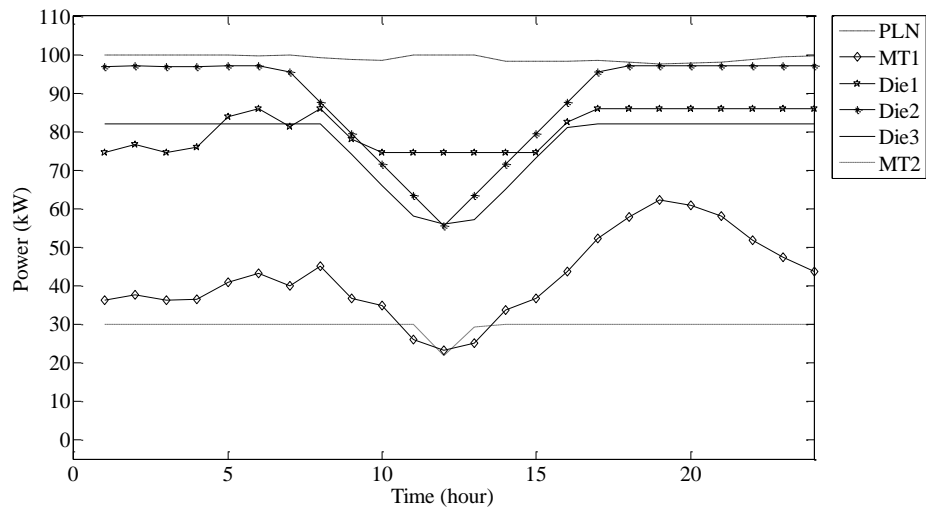
Gambar 4.10 Daya Sumber dan Daya Beban Kasus 3

4.4 Daya Terbangkit

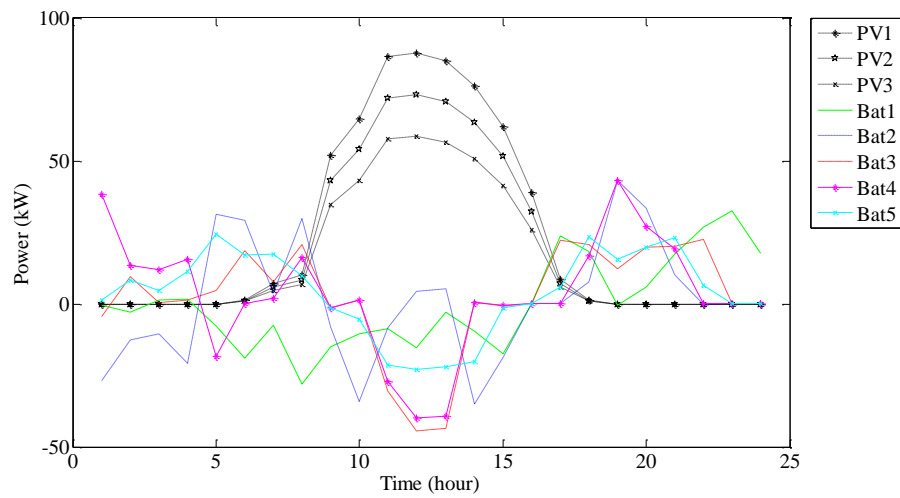
Daya terbangkit tiap unit pada studi kasus 1 dan 2 dapat dilihat pada Gambar 4.11 – 4.8. Daya terbangkit studi kasus 3 memiliki pola yang serupa dengan studi kasus 2. Untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada lampiran.



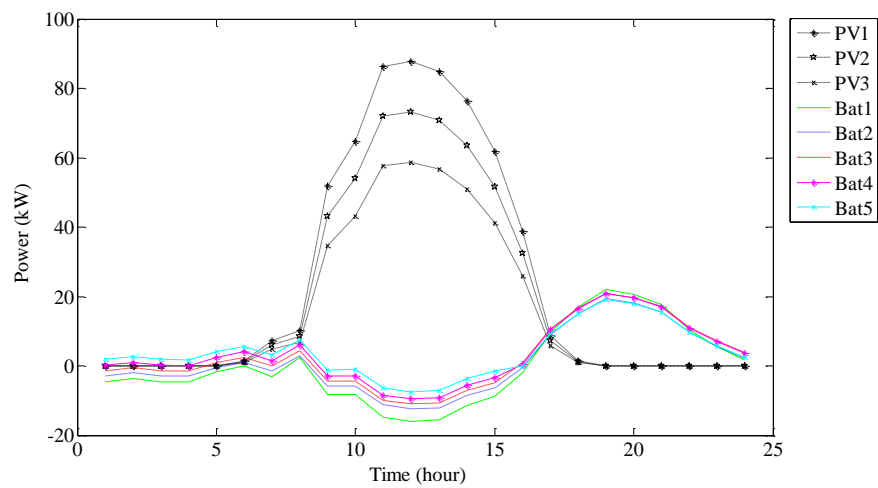
Gambar 4.11 Hasil Pembangkitan *Non Renewable* Kasus 1



Gambar 4.12 Hasil Pembangkitan *Non Renewable* Kasus 2



Gambar 4.13 Hasil Pembangkitan PV dan Baterai Kasus 1



Gambar 4.14 Hasil Pembangkitan PV dan Baterai Kasus 2

4.5 Daya Beban

Total daya terbangkit, daya yang tersuplai dan permintaan daya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.1 Total Daya Kasus 1

<i>Jam</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Daya Terbangkit	412.87	420.7145	412.87	414.026	439.0047	454.6937	446.395	478.1035
Beban Terpenuhi	412.87	420.7145	412.87	414.026	439.0047	454.6937	446.395	478.1035
Permintaan Beban	412.87	420.7145	412.87	414.026	439.0047	454.6937	446.395	478.1035
<i>Jam</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
Daya Terbangkit	503.7014	515.2618	517.3261	494.2054	507.4172	527.6479	522.2805	519.3905
Beban Terpenuhi	503.7014	515.2618	517.3261	494.2054	507.4172	527.6479	522.2805	519.3905
Permintaan Beban	503.7014	515.2618	517.3261	494.2054	507.4172	527.6479	522.2806	519.3905
<i>Jam</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
Daya Terbangkit	514.8489	534.6666	556.9616	549.53	533.8409	497.5083	472.7361	452.0926
Beban Terpenuhi	514.8489	534.6666	556.9616	549.53	533.8409	497.5083	472.7361	452.0926
Permintaan Beban	514.8489	534.6667	556.9616	549.53	533.8409	497.5084	472.7362	452.0927

Tabel 4.2 Total Daya Kasus 2

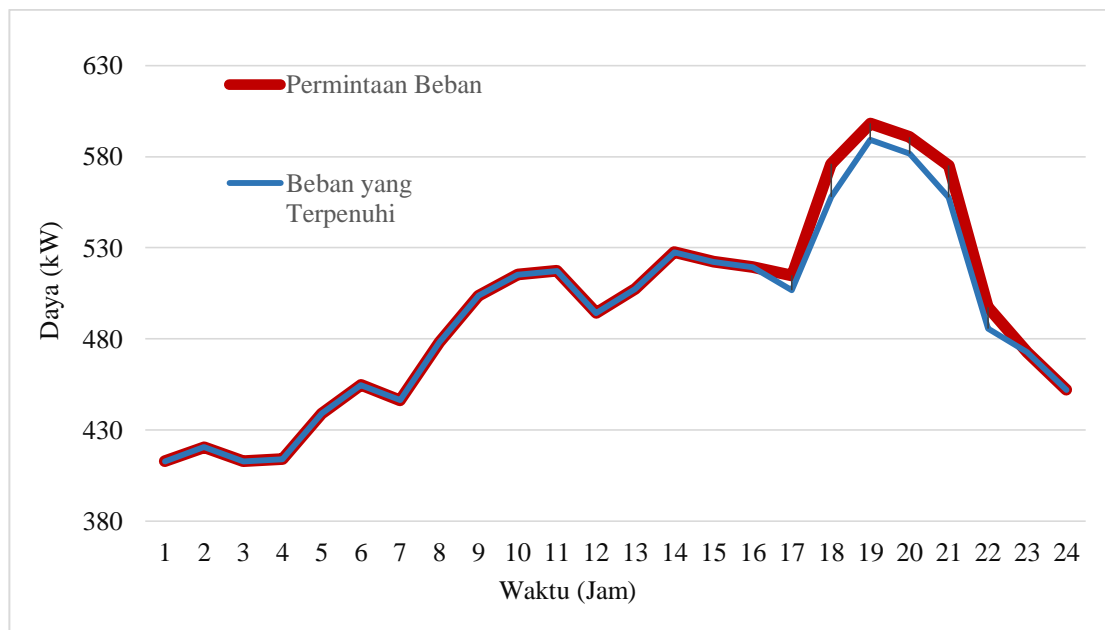
<i>Jam</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Daya Terbangkit	412.870	420.715	412.870	414.026	439.005	454.694	446.395	478.103
Beban Terpenuhi	412.870	420.715	412.870	414.026	439.005	454.694	446.395	478.103
Permintaan Beban	412.870	420.715	412.870	414.026	439.005	454.694	446.395	478.103
<i>Jam</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
Daya Terbangkit	503.701	515.262	517.326	494.205	507.417	527.648	522.281	519.390
Beban Terpenuhi	503.701	515.262	517.326	494.205	507.417	527.648	522.281	519.390
Permintaan Beban	503.701	515.262	517.326	494.205	507.417	527.648	522.281	519.390
<i>Jam</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
Daya Terbangkit	514.849	534.667	556.962	549.530	533.841	497.508	472.736	452.093
Beban Terpenuhi	514.849	534.667	556.962	549.530	533.841	497.508	472.736	452.093
Permintaan Beban	514.849	534.667	556.962	549.530	533.841	497.508	472.736	452.093

Tabel 4.3 Total Daya Kasus 3

<i>Jam</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
Daya Terbangkit	412.870	420.715	412.870	414.026	439.005	454.694	446.395	478.103
Beban Terpenuhi	412.870	420.715	412.870	414.026	439.005	454.694	446.395	478.103
Permintaan Beban	412.870	420.715	412.870	414.026	439.005	454.694	446.395	478.103
<i>Jam</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
Daya Terbangkit	503.701	515.262	517.326	494.205	507.417	527.648	522.281	519.390

Lanjutan Tabel 4.3

Beban Terpenuhi	503.701	515.262	517.326	494.205	507.417	527.648	522.281	519.390
Permintaan Beban	503.701	515.262	517.326	494.205	507.417	527.648	522.281	519.390
Jam	17	18	19	20	21	22	23	24
Daya Terbangkit	506.677	557.787	589.148	581.743	557.761	485.615	472.736	452.093
Beban Terpenuhi	506.677	557.787	589.148	581.743	557.761	485.615	472.736	452.093
Permintaan Beban	514.849	575.954	598.249	590.817	575.128	497.508	472.736	452.093



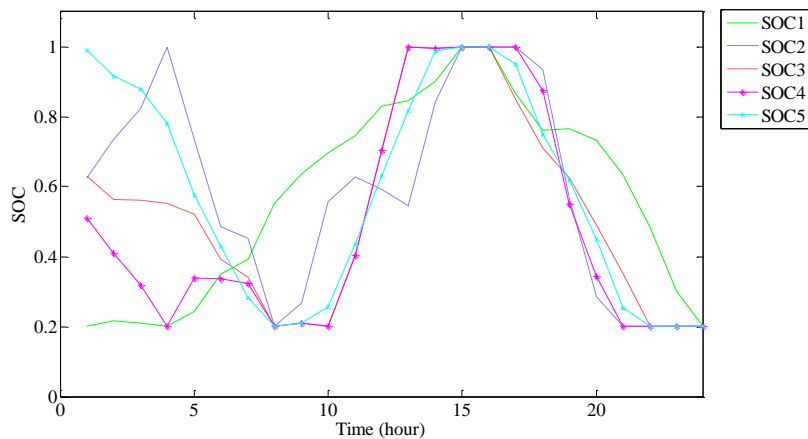
Gambar 4.15 Beban Kasus 3

Berdasarkan Tabel 4.1 dan 4.2, tidak ada perbedaan antara permintaan beban, daya terbangkit, dan beban yang terpenuhi pada kasus 1 dan 2, dapat disimpulkan tidak ada pelepasan beban. Sedangkan pada kasus 3, dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.9, terdapat perbedaan antara permintaan beban, daya terbangkit, dan beban yang terpenuhi saat jam ke-17 hingga 22. Hal ini menunjukkan adanya pelepasan beban pada jam tersebut dikarenakan tidak tercukupinya daya untuk menyuplai beban.

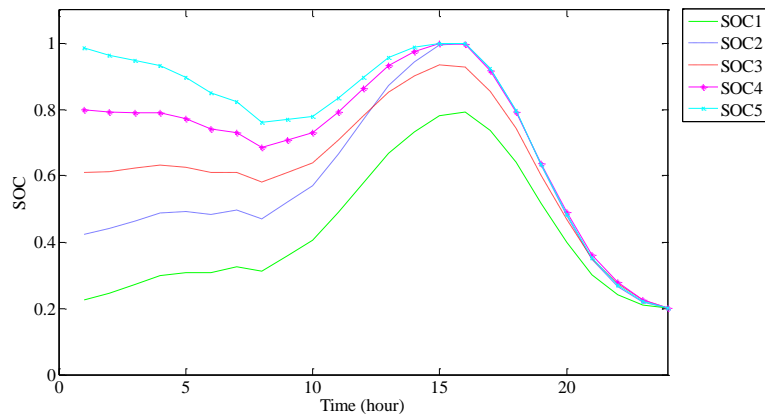
4.6 SOC Baterai

Pada baterai unit 1, dikarenakan SOC awalnya adalah 0.2 maka pada seluruh studi kasus, baterai tidak akan menyuplai daya sebelum baterai di *charge*.

SOC baterai ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan 4.17. SOC baterai pada kasus 1 dan 2 tidak pernah kurang dari 0.2 maupun lebih dari 1. Dengan pola operasi seperti ini, penggunaan baterai selalu berada dalam batas minimal dan maksimal.



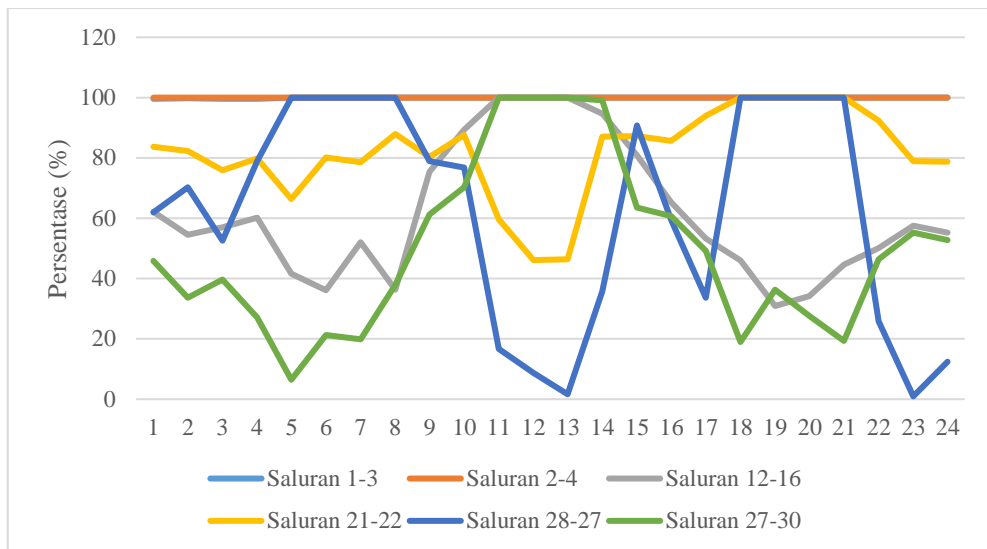
Gambar 4.16 SOC Baterai Kasus 1



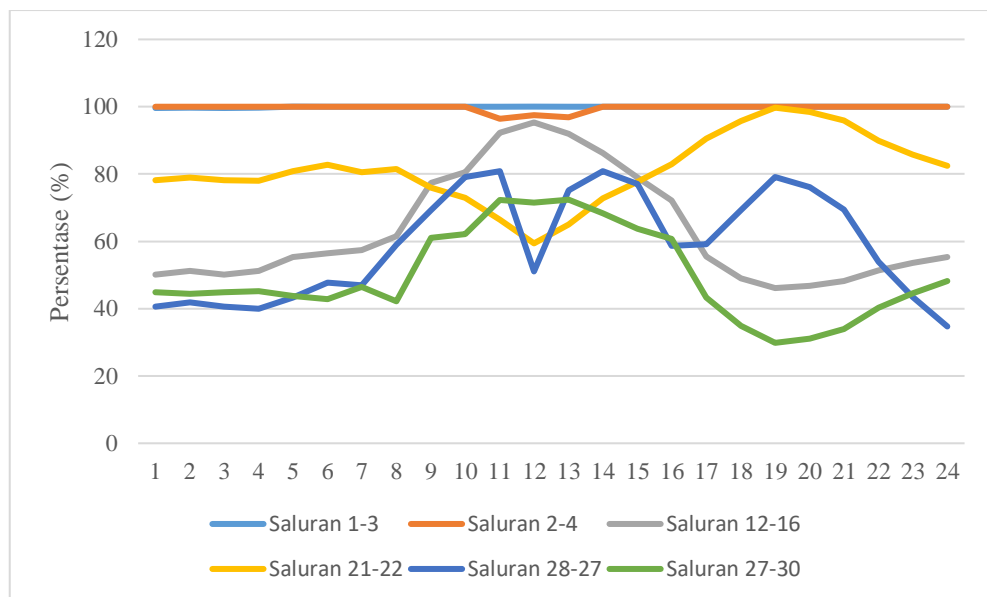
Gambar 4.17 SOC Baterai Kasus 2

4.7 Ramp Rate dan Kapasitas Saluran

Pada setiap kasus, daya yang dibangkitkan pada tiap jam selama 24 jam berada pada batas minimal dan maksimalnya dan dengan adanya kenaikan atau penurunan beban, pembangkit mampu mengatur naik turun keluarannya sesuai *ramp rate* yang diizinkan. Walaupun terdapat saluran yang terbebani 100%, tidak terdapat saluran tidak melanggar kapasitas saluran. Pembebanan beberapa saluran di tiap kasus dapat dilihat pada gambar 12 dan 13.



Gambar 4.18 Pembebanan Saluran Kasus 1



Gambar 4.19 Pembebanan Saluran Kasus 2

4.8 Fungsi Multi-Objektif

Penyelesaian optimasi multi-objektif diselesaikan dengan menggunakan metode *weighted sum*. Hasil optimasi dengan nilai pembobotan yang bervariasi dapat dilihat pada tabel 4.4.

Digunakan pembobotan w_1 sebesar 0.5 dan w_2 sebesar 0.5, untuk mengoptimalkan kedua fungsi objektif (pada kasus 2) tanpa memprioritaskan salah satu fungsi objektif.

Tabel 4.4 Pembobotan w_1 & w_2

w_1	w_2	Total Cost (\$)	Total Pbat (kW)
1	0	74172.576	1588.532
0.9	0.1	74357.298	1125.945
0.8	0.2	74828.452	1009.813
0.7	0.3	75257.069	932.898
0.6	0.4	75514.664	897.480
0.5	0.5	75885.285	875.327
0.4	0.6	76490.485	855.367
0.3	0.7	77019.677	845.171
0.2	0.8	77711.373	831.856
0.1	0.9	78390.463	825.676
0	1	78685.836	825.420

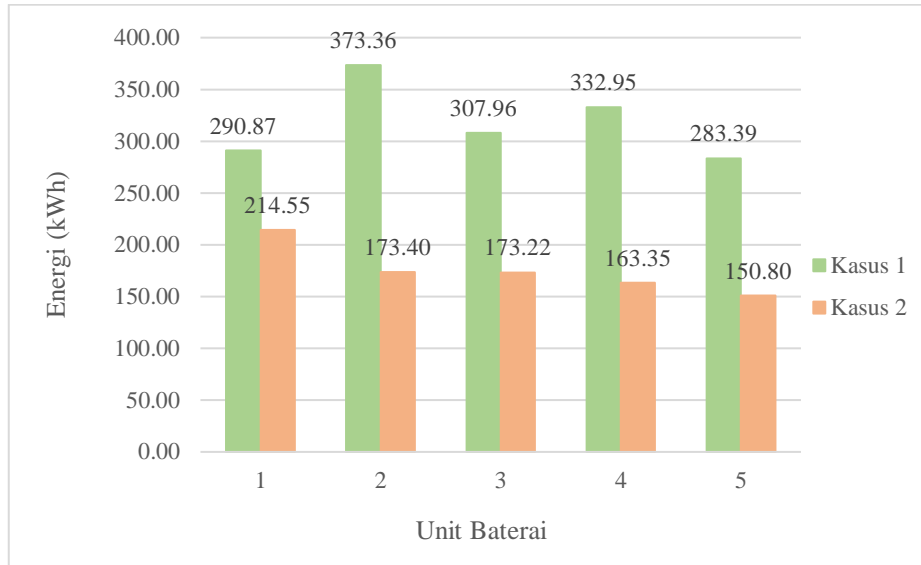
Tabel 4.5 menunjukkan bahwa ketika sistem hanya meminimalkan total biaya pembangkitan, maka penggunaan baterai akan lebih besar untuk memenuhi kebutuhan beban. Namun ketika sistem mengoptimalkan keduanya maka penggunaan baterai akan menurun dan biaya meningkat.

Tabel 4.5 Biaya dan Total Daya Kasus 1 dan 2

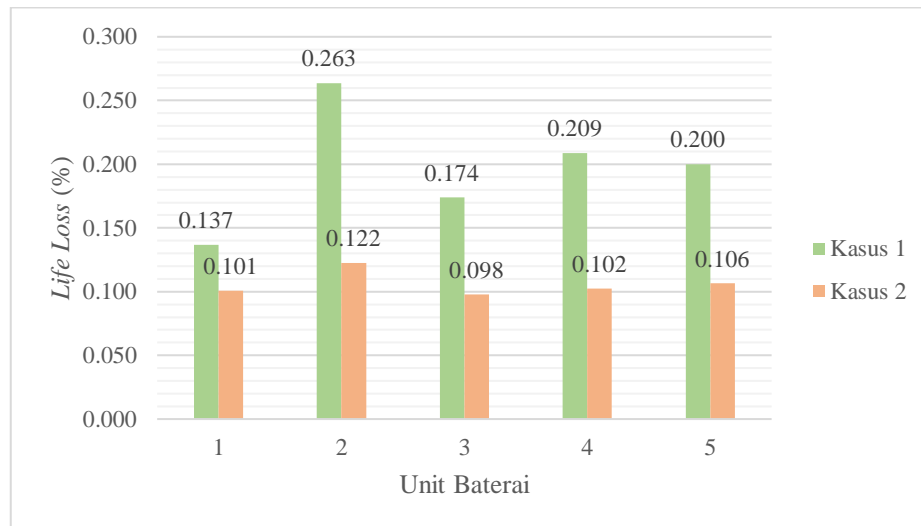
Kasus	Total Biaya Pembangkitan	Total Transaksi Energi Baterai
1	\$ 74172.576	1588.532 kWh
2	\$ 75885.285	875.327 kWh

Total energi tiap unit baterai dapat dilihat pada Gambar 4.20. Salah satu cara untuk mengestimasi umur baterai adalah dengan menghitung *lifetime energy throughput*, yaitu dengan menghitung total energi yang mampu dikeluarkan maupun yang masuk pada baterai berdasarkan *life cycle* baterai saat kondisi baru. Total energi baterai selama satu hari kemudian dipersentasekan pada *lifetime energy throughput*, sehingga didapat estimasi *life loss* baterai atau estimasi umur baterai yang terpakai. Pada Gambar 4.21, umur baterai yang terpakai pada kasus 2

lebih kecil daripada kasus 1, hal ini dikarenakan pada kasus 2 meminimalkan transaksi energi pada baterai.

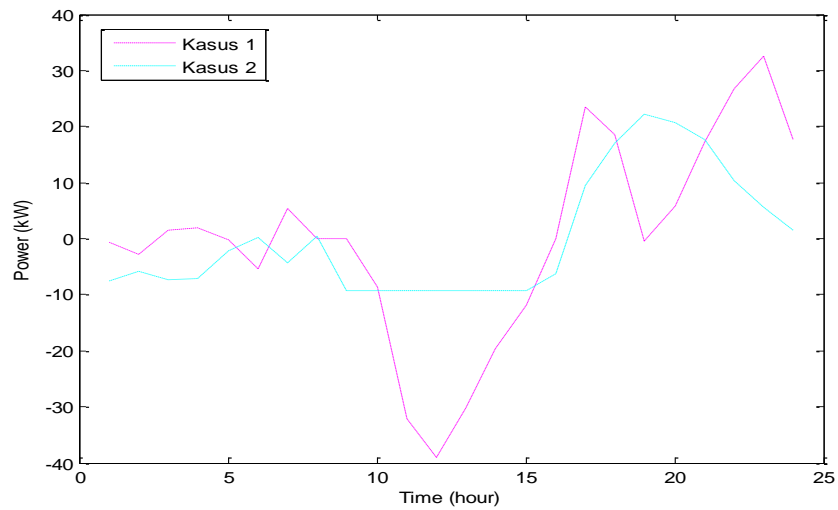


Gambar 4.20 Total Energi Baterai Tiap Unit

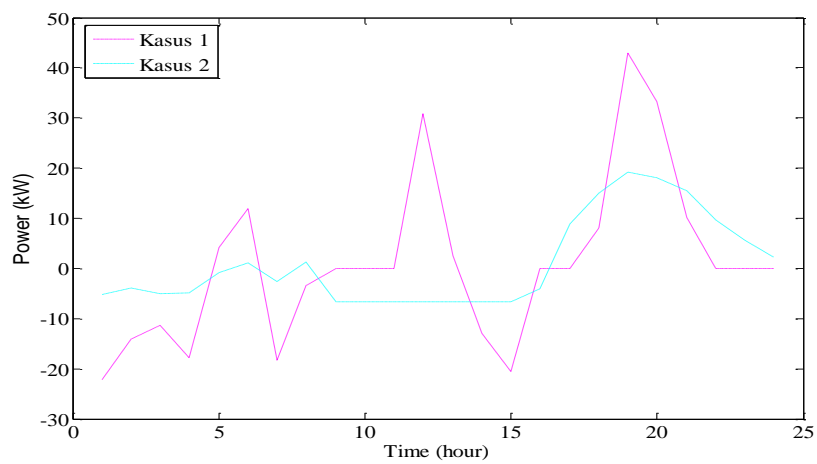


Gambar 4.21 Estimasi *Life Loss* Baterai

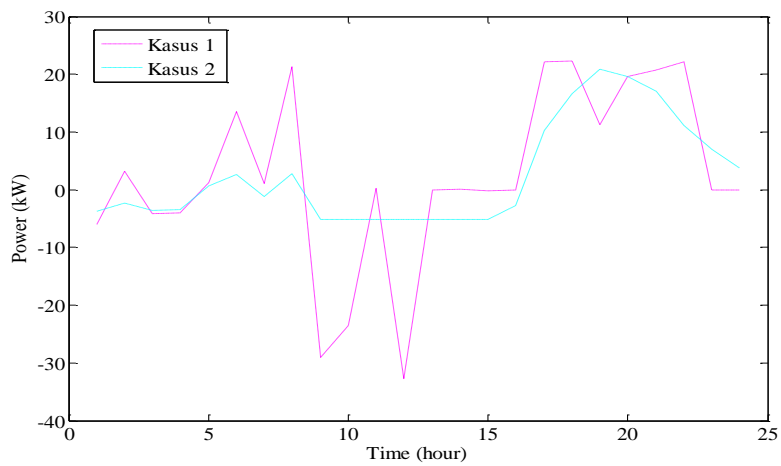
Kondisi *charging* dan *discharging* tiap unit baterai pada kasus 1 diminimalkan pada kasus 2, dapat dilihat pada Gambar 4.22 - 4.26.



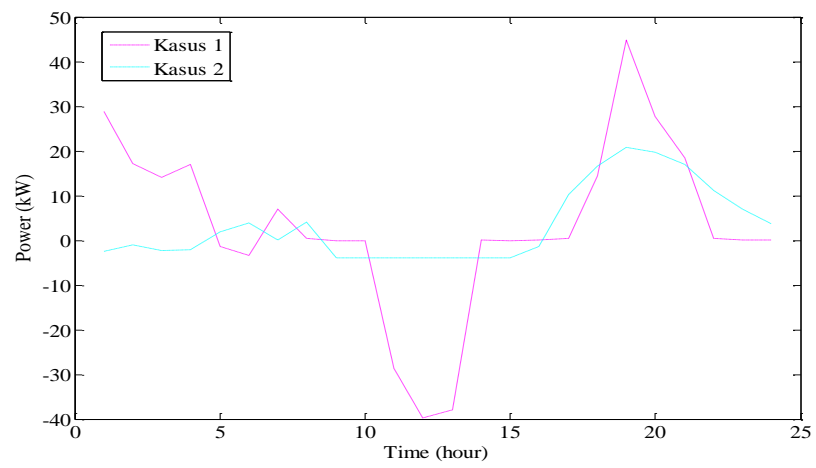
Gambar 4.22 Operasi *Charging* dan *Discharging* Baterai Unit 1



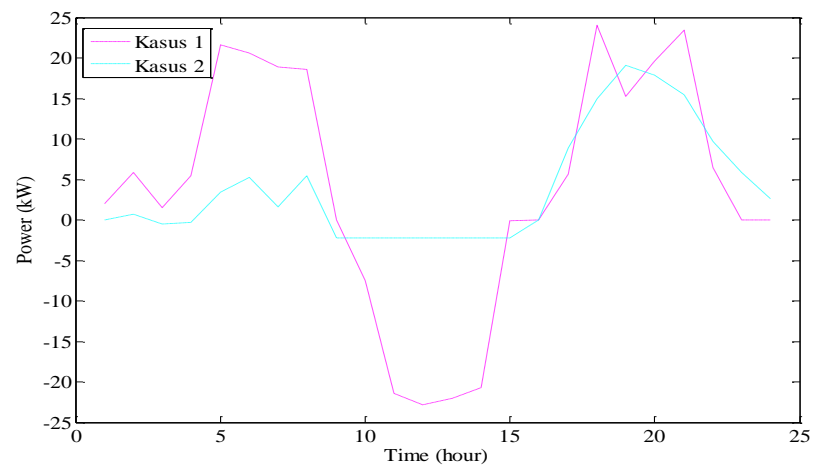
Gambar 4.23 Operasi *Charging* dan *Discharging* Baterai Unit 2



Gambar 4.24 Operasi *Charging* dan *Discharging* Baterai Unit 3



Gambar 4.25 Operasi *Charging* dan *Discharging* Baterai Unit 4



Gambar 4.26 Operasi *Charging* dan *Discharging* Baterai Unit 5

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN

Simulasi terbukti pada sistem dengan pembangkit non renewable yang kurang dari beban puncak, serta tidak terdapat daya *excess* dari pembangkit renewable. Sehingga pada penelitian ini, baterai digunakan sebagai *peaker* dan memungkinkan bagi baterai untuk mendapat suplai energi dari pembangkit non renewable. Dari hasil simulasi dan analisa diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Optimasi menggunakan DDCOPF pada sistem *microgrid* dapat diselesaikan menggunakan *quadratic programming*.
2. Mengoptimalkan umur baterai mengakibatkan total biaya meningkat, dan mengoptimalkan total biaya menyebabkan penggunaan baterai meningkat
3. *Weighted sum* dapat menyelesaikan persamaan multi objektif total biaya dan umur baterai, dan didapatkan nilai yang optimal untuk kedua fungsi objektif.
4. Dengan mengoptimasi kedua fungsi objektif, total daya baterai berkurang 50% dan biaya meningkat sebesar 1712.709 USD selama satu hari.
5. Sistem akan berusaha memenuhi batasan dengan mengatur pembebanan pembangkit, namun jika masih tidak bisa maka sistem akan memilih untuk melepaskan beban.
6. Mengoptimalkan umur baterai dapat dilakukan dengan meminimalkan transaksi energi baterai.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. H. Lasseter, "MicroGrids," *IEEE Power Eng. Soc. Winter Meet*, vol. 1, pp. 305-308, 2002.
- [2] S. Jang, J. Park, J. Hyung Roh, S. Son, K. Y. Lee, "Short-term resource scheduling for power systems with energy storage system," in *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meeting*, San Diego, CA, USA, 2012.
- [3] Y. Riffonneau, S. Bacha, F. Barruel, S. Ploix, "Optimal power flow management for grid connected PV systems with batteries," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 2, no. 3, pp. 309-320, July 2011.
- [4] J. Hill, C. Nwankpa, "System constraints effects on optimal dispatch schedule for battery storage systems," in *IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. (ISGT)*, Washington DC, USA, 2012.
- [5] H. Morais, P. Kadar, M. Cardoso, Z. A. Vale, H. Khodr, "VPP operating in the isolated grid," in *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meeting Convers. Del. Elect. Energy*, Pittsburgh, PA, USA.
- [6] M. Mahmoodi, P. Shamsi, B. Fahimi, "Economic dispatch of a hybrid microgrid with distributed energy storage," *IEEE Trans. in Smart Grid*, vol. 6, no. 6, pp. 2607-2614, Nov 2015.
- [7] Y. Zhang, N. Rahbari-Asr, J. Duan, M. Chow, "Day-Ahead Smart Grid Cooperative Distributed Energy Scheduling With Renewable and Storage Integration," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 7, no. 4, pp. 1949-3029, October 2016.
- [8] R. S. Wibowo, Nursidi, I. Satriyadi, DF Uman, A. Soeprijanto, O. Penangsang, "Dynamic DC optimal power flow using quadratic programming," in *Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, 2013.
- [9] R. S. Wibowo, N. L. Nada, S. Anam, A. Soeprijanto, O. Penangsang, "Dynamic optimal power flow with geothermal power plant under take or pay energy contract," in *Intellegent Technology and Its Application (ISITIA)*, Surabaya, 2015.
- [10] R. S. Wibowo, R. Maulana, A. Taradini, F. A. Pamuji, A. Soeprijanto, "Quadratic programming approach for security constrained optimal power flow," in *Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Chiang Mai, 2015.

- [11] A. J. Wood, B. F. Wollenberg, *Power Generation, Operation, and Control*, New Jersey: Wiley, 2012.
- [12] J. Carpentier, "Optimal power flow," *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 3-15, 1979.
- [13] P. A. Jensen, J. F. Bard, *Operations Research Models and Methods*, 2002.
- [14] G. M. Masters, *Renewable and Efficient Electric Power Systems*, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2004.
- [15] Jenkins, D.P, J. Fletcher, D. Kane, "Lifetime prediction and sizing of lead-acid batteries for microgeneration storage application," *IET Renew. Power Gener*, vol. 2, no. 3, pp. 191-200, April 2008.
- [16] IEEE, "IEEE Citation Reference," [Online]. Available: www.ieee.org/documents/ieeecitationref.pdf.
- [17] Feedback Instruments Ltd., *Digital Pendulum: Control in a Matlab Environment*, Sussex, UK: Feedback Instruments Ltd., 2006.
- [18] K. Tanaka and M. Sugeno, "Stability analysis and design of fuzzy control," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 45, pp. 135-156, 1992.

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel 1 Daya Terbangkit Kasus 1	44
Tabel 2 Daya Terbangkit Kasus 2	46
Tabel 3 Daya Terbangkit Kasus 3	48
Tabel 4 <i>Ramp Rate</i> Pembangkitan Kasus 1	50
Tabel 5 <i>Ramp Rate</i> Pembangkitan Kasus 2	51
Tabel 6 <i>Ramp Rate</i> Pembangkitan Kasus 3	52
Tabel 7 Daya Saluran Kasus 1	53
Tabel 8 Daya Saluran Kasus 2	56
Tabel 9 Daya Saluran Kasus 3	59

Tabel 1 Daya Terbangkit Kasus 1

<i>Jam</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
PLN	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.70	99.88	99.20
Mikroturbin 1	37.24	37.53	37.58	37.69	39.62	40.44	40.47	43.15
Baterai 1	-0.69	-2.85	1.59	1.93	-0.14	-5.37	5.49	0.03
PV 1	0	0	0	0	0	1.44	7.20	10.08
Baterai 2	-22.12	-14.01	-11.41	-17.73	4.17	11.91	-18.22	-3.44
Diesel 1	74.50	74.50	74.50	74.50	74.50	74.50	74.50	74.50
PV 2	0	0	0	0	0	1.20	6.00	8.40
Baterai 3	-6.03	3.22	-4.16	-4.01	1.25	13.50	1.12	21.27
Diesel 2	87.24	87.24	87.24	87.24	87.24	87.24	87.24	87.24
Diesel 3	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00
Baterai 4	28.74	17.27	14.01	16.98	-1.28	-3.42	7.03	0.37
PV 3	0	0	0	0	0	0.96	4.80	6.72
Mikroturbin 2	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Baterai 5	2.00	5.81	1.52	5.43	21.64	20.59	18.89	18.58
<i>Jam</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
PLN	98.66	98.42	98.37	98.86	98.58	98.16	98.27	98.33
Mikroturbin 1	38.11	35.15	26.22	21.04	25.42	32.67	36.14	43.47
Baterai 1	0.00	-8.67	-32.03	-39.10	-30.30	-19.67	-11.93	0.00
PV 1	51.84	64.80	86.40	87.84	84.96	76.32	61.92	38.88
Baterai 2	0.01	0.05	-0.01	30.93	2.61	-12.95	-20.62	0.00
Diesel 1	74.50	74.50	74.50	74.50	74.50	74.50	74.50	74.50
PV 2	43.20	54.00	72.00	73.20	70.80	63.60	51.60	32.40
Baterai 3	-29.00	-23.55	0.18	-32.70	-0.03	0.08	-0.17	0.00
Diesel 2	87.24	87.24	87.24	87.24	87.28	87.35	87.39	93.90
Diesel 3	74.59	67.63	66.88	66.45	66.80	67.38	74.00	82.00
Baterai 4	0.00	-0.01	-28.64	-39.76	-37.84	0.03	-0.05	0.00
PV 3	34.56	43.20	57.60	58.56	56.64	50.88	41.28	25.92
Mikroturbin 2	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Baterai 5	0.00	-7.48	-21.38	-22.84	-22.00	-20.70	-0.06	0.00
<i>Jam</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
PLN	98.43	98.01	97.53	97.69	98.02	98.79	99.32	99.76
Mikroturbin 1	54.47	57.22	57.27	57.25	57.22	54.49	52.39	46.39
Baterai 1	23.55	18.53	-0.52	5.87	17.34	26.69	32.53	17.72
PV 1	8.64	1.44	0	0	0	0	0	0
Baterai 2	0.03	8.09	42.92	33.21	10.18	-0.01	0.03	0.01
Diesel 1	79.48	79.55	79.56	79.55	79.55	79.48	79.40	79.18
PV 2	7.20	1.20	0	0	0	0	0	0
Baterai 3	22.20	22.26	11.20	19.55	20.67	22.15	0.02	0.01
Diesel 2	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00

<i>Jam</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
Diesel 3	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00
Baterai 4	0.43	14.37	44.75	27.79	18.47	0.44	0.02	0.01
PV 3	5.76	0.96	0	0	0	0	0	0
Mikroturbin 2	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Baterai 5	5.67	24.03	15.25	19.61	23.38	6.48	0.03	0.01

Tabel 2 Daya Terbangkit Kasus 2

<i>Jam</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
PLN	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.70	99.88	99.20
Mikroturbin 1	36.69	38.00	36.73	36.92	40.98	43.30	40.04	44.79
Baterai 1	-7.45	-5.80	-7.33	-7.10	-2.17	0.18	-4.39	0.36
PV 1	0	0	0	0	0	1.44	7.20	10.08
Baterai 2	-5.19	-3.83	-5.09	-4.91	-0.82	1.12	-2.66	1.28
Diesel 1	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00
PV 2	0	0	0	0	0	1.20	6.00	8.40
Baterai 3	-3.73	-2.36	-3.63	-3.44	0.65	2.60	-1.20	2.76
Diesel 2	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00
Diesel 3	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00
Baterai 4	-2.44	-1.06	-2.34	-2.15	1.98	3.94	0.12	4.10
PV 3	0	0	0	0	0	0.96	4.80	6.72
Mikroturbin 2	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Baterai 5	0.00	0.76	-0.47	-0.29	3.39	5.26	1.61	5.42
<i>Jam</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
PLN	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.33
Mikroturbin 1	32.89	30.47	18.56	13.63	14.40	21.43	31.26	43.25
Baterai 1	-9.19	-9.18	-9.24	-9.25	-9.25	-9.23	-9.21	-6.18
PV 1	51.84	64.80	86.40	87.84	84.96	76.32	61.92	38.88
Baterai 2	-6.63	-6.63	-6.60	-6.63	-6.62	-6.57	-6.65	-4.14
Diesel 1	78.00	74.50	74.50	74.50	74.50	74.50	78.00	86.00
PV 2	43.20	54.00	57.13	50.15	56.53	60.31	51.60	32.40
Baterai 3	-5.17	-5.17	-5.16	-5.18	-5.17	-5.13	-5.19	-2.67
Diesel 2	89.00	81.00	73.00	65.00	72.99	80.99	88.99	96.99
Diesel 3	74.00	66.00	58.00	56.00	58.00	66.00	74.00	82.00
Baterai 4	-3.89	-3.89	-3.91	-3.93	-3.92	-3.89	-3.91	-1.37
PV 3	34.56	43.20	57.60	58.56	56.64	50.88	41.28	25.92
Mikroturbin 2	27.32	28.38	19.30	15.77	16.62	24.27	22.44	30.00
Baterai 5	-2.22	-2.22	-2.25	-2.26	-2.26	-2.23	-2.24	0.00
<i>Jam</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
PLN	98.43	98.01	97.53	97.69	98.02	98.79	99.32	99.76
Mikroturbin 1	52.10	57.84	62.25	60.93	58.14	51.68	47.28	43.61
Baterai 1	9.45	17.02	22.13	20.67	17.59	10.45	5.58	1.53
PV 1	8.64	1.44	0	0	0	0	0	0
Baterai 2	8.79	15.06	19.29	18.08	15.53	9.62	5.59	2.24
Diesel 1	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00
PV 2	7.20	1.20	0	0	0	0	0	0
Baterai 3	10.29	16.57	20.82	19.60	17.05	11.12	7.08	3.72
Diesel 2	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00

<i>Jam</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
Diesel 3	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00
Baterai 4	10.27	16.60	20.88	19.66	17.08	11.11	7.04	3.65
PV 3	5.76	0.96	0	0	0	0	0	0
Mikroturbin 2	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Baterai 5	8.93	14.98	19.06	17.90	15.43	9.73	5.84	2.60

Tabel 3 Daya Terbangkit Kasus 3

<i>Jam</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
PLN	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.70	99.88	99.20
Mikroturbin 1	36.40	37.67	36.41	36.59	40.63	42.95	39.69	44.44
Baterai 1	-8.84	-7.30	-8.84	-8.61	-3.73	-1.39	-5.96	-1.20
PV 1	0	0	0	0	0	1.44	7.20	10.08
Baterai 2	-4.44	-3.17	-4.43	-4.25	-0.21	1.73	-2.05	1.89
Diesel 1	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00
PV 2	0	0	0	0	0	1.20	6.00	8.40
Baterai 3	-3.69	-2.42	-3.69	-3.51	0.54	2.49	-1.30	2.65
Diesel 2	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00
Diesel 3	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00
Baterai 4	-1.65	-0.37	-1.65	-1.46	2.62	4.58	0.76	4.74
PV 3	0	0	0	0	0	0.96	4.80	6.72
Mikroturbin 2	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Baterai 5	0.08	1.30	0.08	0.26	4.16	6.03	2.38	6.18
<i>Jam</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>
PLN	98.66	98.42	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.33
Mikroturbin 1	36.04	34.24	22.52	18.62	19.38	26.49	32.88	42.97
Baterai 1	-12.15	-11.99	-12.84	-12.85	-12.85	-12.83	-12.80	-7.55
PV 1	51.84	64.80	86.40	87.84	84.96	76.32	61.92	38.88
Baterai 2	-7.18	-7.04	-7.65	-7.68	-7.67	-7.62	-7.71	-3.37
Diesel 1	78.00	74.50	74.50	74.50	74.50	74.50	78.00	86.00
PV 2	43.20	54.00	54.59	48.00	54.39	58.15	51.60	32.40
Baterai 3	-6.44	-6.31	-6.93	-6.96	-6.95	-6.90	-6.98	-2.62
Diesel 2	89.00	81.00	73.00	65.00	73.00	81.00	89.00	97.00
Diesel 3	75.17	67.17	59.17	56.00	58.00	66.00	74.00	82.00
Baterai 4	-4.42	-4.29	-4.96	-4.98	-4.98	-4.94	-4.96	-0.57
PV 3	34.56	43.20	57.60	58.56	56.64	50.88	41.28	25.92
Mikroturbin 2	30.00	30.00	25.03	21.26	22.10	29.68	29.13	30.00
Baterai 5	-2.57	-2.44	-3.10	-3.11	-3.11	-3.08	-3.08	0.00
<i>Jam</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
PLN	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	99.32	99.76
Mikroturbin 1	54.63	65.00	65.00	65.00	65.00	55.16	49.65	44.87
Baterai 1	19.88	19.88	18.75	19.88	19.88	19.88	16.23	7.32
PV 1	8.64	1.44	0	0	0	0	0	0
Baterai 2	0.00	12.97	35.19	31.69	14.61	0.00	0.00	0.00
Diesel 1	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00	86.00
PV 2	7.20	1.20	0	0	0	0	0	0
Baterai 3	15.57	17.55	16.44	17.57	17.70	15.57	12.54	5.15
Diesel 2	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00	97.00

<i>Jam</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	<i>21</i>	<i>22</i>	<i>23</i>	<i>24</i>
Diesel 3	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00	82.00
Baterai 4	0.00	22.68	34.74	25.65	23.19	0.00	0.00	0.00
PV 3	5.76	0.96	0	0	0	0	0	0
Mikroturbin 2	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Baterai 5	0.00	21.11	24.03	26.95	22.38	0.00	0.00	0.00

Tabel 4 *Ramp Rate* Pembangkitan Kasus 1

Pembangkit	<i>Ramp Rate</i>	Interval Waktu ke-							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PLN	12	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.30	0.18	-0.67	-0.54
Mikroturbin 1	12	0.29	0.05	0.11	1.93	0.82	0.03	2.69	-5.04
Diesel 1	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diesel 2	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diesel 3	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-7.41
Mikroturbin 2	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pembangkit	<i>Ramp Rate</i>	Interval Waktu ke-							
		9	10	11	12	13	14	15	16
PLN	12	-0.24	-0.04	0.49	-0.28	-0.43	0.11	0.06	0.10
Mikroturbin 1	12	-2.96	-8.93	-5.18	4.38	7.25	3.48	7.32	11.00
Diesel 1	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.98
Diesel 2	8	0.00	0.00	0.00	0.04	0.07	0.04	6.51	3.10
Diesel 3	8	-6.96	-0.75	-0.43	0.35	0.59	6.62	8.00	0.00
Mikroturbin 2	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pembangkit	<i>Ramp Rate</i>	Interval Waktu ke-							
		17	18	19	20	21	22	23	24
PLN	12	0.06	0.10	-0.42	-0.47	0.16	0.33	0.77	0.52
Mikroturbin 1	12	7.32	11.00	2.76	0.04	-0.02	-0.03	-2.74	-2.09
Diesel 1	8	0.00	4.98	0.07	0.00	0.00	0.00	-0.07	-0.08
Diesel 2	8	6.51	3.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diesel 3	8	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mikroturbin 2	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabel 5 Ramp Rate Pembangkitan Kasus 2

Pembangkit	Ramp Rate	Interval Waktu ke-							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PLN	12	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.30	0.18	-0.67	0.79
Mikroturbin 1	12	1.31	-1.27	0.19	4.06	2.32	-3.25	4.75	-11.90
Diesel 1	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-8.00
Diesel 2	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-8.00
Diesel 3	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-8.00
Mikroturbin 2	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-2.68
Pembangkit	Ramp Rate	Interval Waktu ke-							
		9	10	11	12	13	14	15	16
PLN	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.67	0.10
Mikroturbin 1	12	-2.42	-11.91	-4.93	0.77	7.03	9.83	11.99	8.85
Diesel 1	8	-3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	8.00	0.00
Diesel 2	8	-8.00	-8.00	-8.00	7.99	8.00	8.00	8.00	0.01
Diesel 3	8	-8.00	-8.00	-2.00	2.00	8.00	8.00	8.00	0.00
Mikroturbin 2	12	1.06	-9.08	-3.53	0.85	7.64	-1.83	7.56	0.00
Pembangkit	Ramp Rate	Interval Waktu ke-							
		17	18	19	20	21	22	23	24
PLN	12	-1.67	0.10	-0.42	-0.47	0.16	0.33	0.77	0.52
Mikroturbin 1	12	11.99	8.85	5.75	4.41	-1.32	-2.79	-6.46	-4.40
Diesel 1	8	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diesel 2	8	8.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diesel 3	8	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mikroturbin 2	12	7.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabel 6 *Ramp Rate* Pembangkitan Kasus 3

Pembangkit	<i>Ramp Rate</i>	Interval Waktu ke-							
		1	2	3	4	5	6	7	8
PLN	12	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.30	0.18	-0.67	-0.54
Mikroturbin 1	12	1.27	-1.27	0.19	4.04	2.32	-3.25	4.75	-8.41
Diesel 1	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-8.00
Diesel 2	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-8.00
Diesel 3	8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-6.83
Mikroturbin 2	12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pembangkit	<i>Ramp Rate</i>	Interval Waktu ke-							
		9	10	11	12	13	14	15	16
PLN	12	-0.24	1.58	0.00	0.00	0.00	0.00	-1.67	1.67
Mikroturbin 1	12	-1.79	-11.73	-3.90	0.76	7.11	6.39	10.09	11.66
Diesel 1	8	-3.50	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	8.00	0.00
Diesel 2	8	-8.00	-8.00	-8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	0.00
Diesel 3	8	-8.00	-8.00	-3.17	2.00	8.00	8.00	8.00	0.00
Mikroturbin 2	12	0.00	-4.97	-3.77	0.84	7.57	-0.54	0.87	0.00
Pembangkit	<i>Ramp Rate</i>	Interval Waktu ke-							
		17	18	19	20	21	22	23	24
PLN	12	-1.67	1.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.68
Mikroturbin 1	12	10.09	11.66	10.37	0.00	0.00	0.00	-9.84	-5.52
Diesel 1	8	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diesel 2	8	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Diesel 3	8	8.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mikroturbin 2	12	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabel 7 Daya Saluran Kasus 1

From	To	Kapasitas	Jam ke-							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	130	68.121	68.087	68.121	68.116	68.007	67.701	67.876	67.205
1	3	32	31.879	31.913	31.879	31.884	31.993	32.000	32.000	32.000
2	4	16	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
3	4	32	18.759	18.544	18.759	18.727	18.043	17.551	17.815	16.807
2	5	32	20.373	20.314	20.480	20.492	20.611	20.293	19.709	19.372
2	6	32	24.500	23.974	24.739	24.705	23.715	22.859	24.538	23.474
4	6	90	42.252	39.883	43.323	43.174	38.716	34.865	42.422	37.632
5	7	32	20.373	20.314	20.480	20.492	20.611	20.293	19.709	19.372
6	7	70	26.367	27.314	26.260	26.379	29.087	29.741	23.626	24.673
6	8	90	51.446	52.256	51.905	51.561	53.488	55.511	54.440	58.529
6	9	65	-7.537	-10.080	-8.095	-6.827	-10.258	-15.149	-4.593	-11.977
6	10	32	-4.307	-5.760	-4.626	-3.901	-5.862	-8.657	-2.625	-6.844
9	11	16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65	-7.537	-10.080	-8.095	-6.827	-10.258	-15.149	-4.593	-11.977
4	12	70	-23.759	-24.066	-22.552	-22.144	-21.378	-23.839	-19.961	-22.837
12	13	90	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500
12	14	16	6.220	6.495	6.697	6.643	7.357	7.230	6.880	6.909
12	15	65	2.456	3.059	4.142	3.896	5.242	4.047	3.203	1.803
12	16	32	19.105	17.485	18.149	18.794	16.110	14.098	19.632	16.364
14	15	32	-6.490	-6.456	-6.013	-6.103	-6.157	-6.768	-6.862	-7.809
16	17	16	11.520	9.755	10.564	11.188	8.044	5.745	11.431	7.580
15	18	70	27.299	26.223	26.238	26.808	25.347	24.608	28.638	27.530
18	19	65	16.639	15.361	15.578	16.118	14.012	12.868	17.113	15.186
19	20	16	-2.836	-4.484	-3.897	-3.411	-6.695	-8.579	-3.944	-7.366
10	20	32	13.496	15.347	14.557	14.101	18.030	20.319	15.469	19.711
10	17	65	6.930	9.045	7.886	7.314	11.573	14.574	8.517	13.785
10	21	65	-38.438	-38.424	-33.548	-35.626	-30.695	-34.138	-35.690	-39.989
10	22	65	-27.846	-27.929	-24.912	-26.172	-23.503	-25.750	-26.586	-29.533
21	22	90	-74.313	-74.981	-69.423	-71.601	-68.841	-73.647	-74.478	-81.532
15	23	90	-48.143	-46.750	-44.919	-45.872	-44.137	-44.642	-44.472	-44.602
22	24	32	-20.953	-12.452	-11.262	-14.548	-3.855	1.343	-12.711	-2.560
23	24	70	25.246	26.476	28.471	27.493	28.708	27.876	28.219	27.427
24	25	65	15.195	13.120	13.385	12.043	4.612	6.160	3.253	4.583
25	26	65	7.175	7.311	7.175	7.195	7.629	6.942	2.958	1.589
25	27	65	8.020	5.809	6.210	4.847	-3.017	-0.782	0.296	2.995
28	27	16	-9.271	-10.286	-6.976	-9.443	-15.930	-15.942	-15.942	-15.964
27	29	32	14.496	13.231	14.693	13.138	7.448	8.460	8.844	10.149
27	30	32	14.254	12.292	14.540	12.266	3.606	4.816	5.510	6.882
29	30	32	5.476	4.040	5.673	4.093	-2.143	-1.474	-0.908	-0.296
8	28	16	-10.054	-10.413	-9.595	-10.112	-11.905	-12.219	-12.054	-12.688
9	28	16	0.783	0.127	2.619	0.668	-4.025	-3.723	-3.887	-3.275

From	To	Kapasitas	Jam ke-							
			9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	130	66.662	66.417	66.374	66.863	66.584	66.155	66.269	66.330
1	3	32	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000
2	4	16	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
3	4	32	15.994	15.626	15.561	16.295	15.875	15.233	15.403	15.495
2	5	32	11.423	8.433	2.632	1.390	2.825	5.772	8.968	14.489
2	6	32	23.080	21.616	18.221	17.262	18.507	20.199	21.171	23.344
4	6	90	35.862	29.272	13.993	9.679	15.280	22.897	27.270	37.049
5	7	32	11.423	8.433	2.632	1.390	2.825	5.772	8.968	14.489
6	7	70	-6.240	-14.902	-30.467	-33.282	-30.341	-22.359	-11.762	5.430
6	8	90	62.872	64.619	65.701	63.039	64.768	66.930	64.564	65.146
6	9	65	0.587	-0.933	-5.701	-6.100	-4.942	-4.583	-2.095	-8.195
6	10	32	0.335	-0.533	-3.258	-3.486	-2.824	-2.619	-1.197	-4.683
9	11	16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65	0.587	-0.933	-5.701	-6.100	-4.942	-4.583	-2.095	-8.195
4	12	70	-22.876	-25.764	-33.985	-35.131	-32.848	-31.243	-27.506	-25.154
12	13	90	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-74.501
12	14	16	4.895	4.191	2.367	2.250	2.676	2.911	3.766	5.319
12	15	65	-6.536	-9.575	-16.125	-15.443	-14.564	-14.690	-11.411	-5.777
12	16	32	25.254	25.466	25.504	25.079	25.322	25.694	25.595	20.921
14	15	32	-10.611	-11.671	-13.558	-12.964	-12.945	-13.333	-12.312	-10.670
16	17	16	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	11.379
15	18	70	36.723	37.888	39.336	38.119	38.553	39.520	38.594	33.849
18	19	65	23.718	24.584	25.979	25.359	25.451	25.897	25.109	20.439
19	20	16	-0.042	0.280	1.577	2.048	1.517	1.007	0.473	-4.061
10	20	32	13.047	13.024	11.780	10.712	11.585	12.616	13.012	17.471
10	17	65	6.509	7.026	7.118	6.085	6.675	7.579	7.339	11.831
10	21	65	-17.062	-18.957	-22.984	-2.477	-20.096	-30.895	-33.286	-31.952
10	22	65	-16.073	-17.344	-19.784	-7.212	-17.936	-24.650	-26.022	-25.188
21	22	90	-60.829	-63.729	-67.935	-45.420	-64.186	-76.743	-78.667	-77.082
15	23	90	-31.179	-26.113	-18.082	-13.448	-15.921	-25.426	-31.981	-39.043
22	24	32	-18.666	-17.389	-0.305	1.902	5.125	-13.956	-17.465	-8.373
23	24	70	32.906	30.767	38.005	42.692	40.296	30.955	31.128	32.125
24	25	65	-7.520	-8.893	-13.283	-16.516	-14.336	-5.768	-8.945	1.316
25	26	65	-25.806	-34.246	-48.610	-49.971	-47.822	-41.710	-32.204	-16.894
25	27	65	18.286	25.353	35.326	33.455	33.485	35.942	23.258	18.210
28	27	16	-10.770	-9.497	-5.420	-3.806	-3.690	-5.939	-14.303	-9.527
27	29	32	18.681	22.163	27.911	27.652	27.800	28.020	19.393	19.263
27	30	32	18.835	23.693	31.995	31.997	31.996	31.983	19.562	19.421
29	30	32	7.677	10.906	16.609	16.855	16.714	16.492	7.983	7.916
8	28	16	-12.158	-12.133	-11.359	-10.577	-10.816	-11.667	-13.234	-12.221
9	28	16	1.388	2.636	5.939	6.770	7.126	5.728	-1.069	2.694

From	To	Kapasitas	Jam ke-							
			17	18	19	20	21	22	23	24
1	2	130	66.426	66.006	65.534	65.692	66.024	66.794	67.318	67.756
1	3	32	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000
2	4	16	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
3	4	32	15.639	15.010	14.301	14.537	15.036	16.190	16.978	17.634
2	5	32	22.185	23.550	23.218	23.395	23.769	23.806	23.761	22.401
2	6	32	27.235	26.072	23.573	24.339	25.959	27.870	29.016	27.033
4	6	90	54.556	49.325	38.079	41.528	48.817	57.414	62.574	53.649
5	7	32	22.185	23.550	23.218	23.395	23.769	23.806	23.761	22.401
6	7	70	27.460	35.538	39.834	38.816	36.666	32.516	29.756	28.779
6	8	90	65.401	65.826	68.706	67.748	65.719	63.379	61.053	57.965
6	9	65	-10.844	-15.143	-28.742	-24.712	-16.177	-10.882	-5.541	-8.556
6	10	32	-6.197	-8.653	-16.424	-14.121	-9.244	-6.219	-3.166	-4.889
9	11	16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65	-10.844	-15.143	-28.742	-24.712	-16.177	-10.882	-5.541	-8.556
4	12	70	-18.795	-19.960	-29.313	-25.861	-20.591	-17.312	-14.909	-19.359
12	13	90	-79.479	-79.553	-79.556	-79.555	-79.554	-79.480	-79.404	-79.184
12	14	16	8.688	8.933	7.854	8.409	8.887	9.249	9.300	8.469
12	15	65	6.357	6.288	1.414	3.730	6.162	9.164	10.520	8.555
12	16	32	17.007	14.639	10.002	10.995	14.226	16.088	18.385	17.660
14	15	32	-7.162	-7.526	-9.292	-8.508	-7.547	-6.067	-5.253	-5.449
16	17	16	7.548	4.817	-0.230	0.899	4.419	6.949	9.701	9.354
15	18	70	28.276	27.175	25.453	25.471	26.865	26.443	27.063	26.250
18	19	65	14.983	13.370	11.072	11.283	13.082	13.597	14.858	14.577
19	20	16	-9.302	-11.850	-15.199	-14.638	-12.099	-9.870	-7.441	-6.748
10	20	32	22.595	25.655	29.580	28.827	25.883	22.715	19.647	18.421
10	17	65	15.459	19.076	25.119	23.658	19.437	15.284	11.425	10.848
10	21	65	-39.953	-43.523	-41.584	-42.230	-43.594	-39.794	-29.929	-31.552
10	22	65	-29.937	-32.308	-31.403	-31.705	-32.341	-29.640	-23.435	-24.169
21	22	90	-84.689	-89.981	-89.980	-89.980	-89.981	-83.023	-71.006	-70.835
15	23	90	-42.842	-48.982	-56.007	-52.623	-49.985	-43.601	-41.044	-41.551
22	24	32	4.573	-3.029	-13.180	-5.131	-4.647	6.491	2.579	2.008
23	24	70	28.421	21.868	14.378	17.917	20.882	28.024	31.098	31.021
24	25	65	11.180	10.114	21.885	16.837	11.641	13.462	13.274	13.513
25	26	65	3.187	8.332	9.679	9.550	9.277	8.646	8.215	7.857
25	27	65	7.993	1.782	12.206	7.287	2.363	4.816	5.059	5.656
28	27	16	-5.320	-15.988	-15.979	-15.972	-15.988	-4.239	0.124	-1.995
27	29	32	16.779	10.023	14.430	12.375	10.254	15.808	17.522	16.763
27	30	32	15.894	5.772	11.797	8.940	6.121	14.770	17.661	16.899
29	30	32	5.531	-1.658	2.262	0.369	-1.409	4.939	7.194	6.886
8	28	16	-11.289	-13.817	-14.258	-14.109	-13.800	-10.729	-9.364	-9.378
9	28	16	5.970	-2.171	-1.721	-1.864	-2.188	6.490	9.488	7.383

Tabel 8 Daya Saluran Kasus 2

From	To	Kapasitas	Jam ke-							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	130	68.121	68.087	68.121	68.116	68.007	67.701	67.876	67.205
1	3	32	31.879	31.913	31.879	31.884	31.993	32.000	32.000	32.000
2	4	16	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
3	4	32	18.759	18.544	18.759	18.727	18.043	17.551	17.815	16.807
2	5	32	20.203	20.459	20.216	20.252	21.032	21.179	19.577	19.879
2	6	32	24.122	24.297	24.152	24.173	24.650	24.826	24.244	24.600
4	6	90	40.549	41.337	40.683	40.779	42.925	43.716	41.097	42.699
5	7	32	20.203	20.459	20.216	20.252	21.032	21.179	19.577	19.879
6	7	70	26.537	27.169	26.524	26.619	28.666	28.856	23.759	24.166
6	8	90	52.280	53.240	52.332	52.466	55.383	57.212	56.313	60.010
6	9	65	-11.625	-11.990	-11.676	-11.722	-12.746	-13.115	-11.670	-12.425
6	10	32	-6.643	-6.851	-6.672	-6.698	-7.283	-7.494	-6.668	-7.100
9	11	16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65	-11.625	-11.990	-11.676	-11.722	-12.746	-13.115	-11.670	-12.425
4	12	70	-28.822	-28.467	-28.834	-28.780	-27.617	-27.146	-28.521	-27.569
12	13	90	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000
12	14	16	7.666	7.782	7.667	7.684	8.050	8.161	7.571	7.795
12	15	65	7.573	7.612	7.577	7.582	7.695	7.341	5.647	4.940
12	16	32	18.978	18.743	18.962	18.929	18.225	18.066	19.436	19.108
14	15	32	-5.044	-5.169	-5.043	-5.061	-5.464	-5.837	-6.171	-6.923
16	17	16	11.393	11.014	11.377	11.323	10.160	9.712	11.235	10.324
15	18	70	26.148	26.222	26.135	26.148	26.419	26.888	27.988	28.930
18	19	65	15.488	15.360	15.475	15.458	15.084	15.149	16.462	16.585
19	20	16	-3.987	-4.485	-4.000	-4.071	-5.623	-6.299	-4.594	-5.967
10	20	32	14.647	15.348	14.660	14.761	16.958	18.039	16.119	18.311
10	17	65	7.057	7.787	7.073	7.178	9.458	10.607	8.713	11.041
10	21	65	-32.671	-33.152	-32.676	-32.746	-34.265	-34.976	-33.449	-34.893
10	22	65	-24.386	-24.765	-24.389	-24.444	-25.645	-26.253	-25.241	-26.475
21	22	90	-68.546	-69.709	-68.551	-68.721	-72.411	-74.485	-72.237	-76.436
15	23	90	-40.429	-40.909	-40.411	-40.485	-42.063	-42.697	-40.687	-41.978
22	24	32	0.336	0.166	0.429	0.390	-0.405	-1.141	-1.673	-3.156
23	24	70	32.961	32.317	32.979	32.881	30.782	29.821	32.004	30.051
24	25	65	13.023	13.252	13.235	13.238	13.392	12.979	11.166	10.341
25	26	65	7.175	7.311	7.175	7.195	7.629	6.942	2.958	1.589
25	27	65	5.848	5.941	6.060	6.042	5.762	6.037	8.208	8.752
28	27	16	-5.098	-5.362	-4.842	-4.918	-6.456	-7.436	-6.574	-8.559
27	29	32	15.312	15.295	15.503	15.473	14.898	14.715	15.898	15.521
27	30	32	15.438	15.284	15.715	15.651	14.409	13.886	15.737	14.672
29	30	32	6.292	6.103	6.483	6.427	5.307	4.781	6.145	5.076
8	28	16	-9.220	-9.428	-9.168	-9.207	-10.010	-10.518	-10.181	-11.207
9	28	16	4.122	4.066	4.327	4.288	3.555	3.082	3.607	2.648

From	To	Kapasitas	Jam ke-							
			9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	130	68.238	68.256	69.441	69.761	70.103	69.683	68.521	66.330
1	3	32	31.762	31.743	30.558	30.237	29.895	30.316	31.478	32.000
2	4	16	15.121	15.004	12.967	12.592	11.910	12.476	14.500	16.000
3	4	32	15.755	15.369	14.119	14.532	13.771	13.549	14.882	15.495
2	5	32	10.563	7.861	2.149	1.048	1.767	4.472	8.616	14.421
2	6	32	21.171	20.344	17.147	16.503	16.156	17.310	20.387	23.194
4	6	90	31.002	27.785	22.051	20.747	22.083	24.871	30.120	36.372
5	7	32	10.563	7.861	2.149	1.048	1.767	4.472	8.616	14.421
6	7	70	-5.380	-14.329	-29.983	-32.939	-29.283	-21.058	-11.409	5.498
6	8	90	63.128	64.193	64.698	61.991	63.657	65.732	65.750	65.103
6	9	65	-5.084	-1.698	1.627	3.575	0.751	-2.181	-4.778	-8.627
6	10	32	-2.905	-0.970	0.930	2.043	0.429	-1.247	-2.731	-4.930
9	11	16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65	-5.084	-1.698	1.627	3.575	0.751	-2.181	-4.778	-8.627
4	12	70	-28.320	-26.039	-23.725	-21.519	-24.795	-27.983	-29.653	-30.660
12	13	90	-78.000	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-78.000	-86.000
12	14	16	4.745	4.239	4.628	5.249	4.450	3.629	4.151	6.046
12	15	65	-7.066	-9.403	-8.125	-4.831	-8.285	-12.148	-10.047	-3.205
12	16	32	23.991	24.971	25.504	25.079	25.322	25.694	25.198	23.615
14	15	32	-10.761	-11.623	-11.298	-9.964	-11.170	-12.614	-11.927	-9.943
16	17	16	14.737	15.504	16.000	16.000	16.000	16.000	15.603	14.073
15	18	70	35.890	37.483	37.685	35.929	37.257	38.995	38.016	35.328
18	19	65	22.885	24.179	24.328	23.169	24.156	25.372	24.531	21.918
19	20	16	-0.874	-0.126	-0.074	-0.142	0.221	0.483	-0.105	-2.581
10	20	32	13.880	13.429	13.431	12.902	12.880	13.141	13.590	15.992
10	17	65	7.772	7.521	7.118	6.085	6.675	7.579	7.736	9.137
10	21	65	-28.091	-24.448	-20.938	-17.814	-21.082	-24.876	-27.798	-32.353
10	22	65	-22.690	-20.638	-18.556	-16.414	-18.528	-21.039	-22.730	-25.429
21	22	90	-71.858	-69.220	-65.889	-60.757	-65.172	-70.724	-73.180	-77.484
15	23	90	-31.027	-25.488	-21.046	-20.692	-20.839	-24.927	-29.655	-37.224
22	24	32	-10.723	-14.030	-16.602	-17.349	-15.886	-15.902	-12.114	-8.599
23	24	70	32.469	29.767	26.166	25.002	26.580	30.070	33.453	33.945
24	25	65	-3.905	-10.410	-16.695	-17.622	-15.148	-12.516	-5.133	1.535
25	26	65	-25.806	-34.245	-48.609	-49.971	-47.821	-41.710	-32.203	-16.894
25	27	65	21.901	23.835	31.914	32.348	32.673	29.194	27.070	18.429
28	27	16	-9.488	-11.626	-10.435	-9.045	-9.242	-11.929	-8.372	-9.743
27	29	32	19.587	20.014	20.105	19.252	19.741	20.480	20.284	19.264
27	30	32	20.148	20.578	20.675	19.818	20.310	21.050	20.854	19.422
29	30	32	8.583	8.757	8.803	8.455	8.656	8.952	8.873	7.917
8	28	16	-11.902	-12.559	-12.362	-11.624	-11.926	-12.865	-12.047	-12.264
9	28	16	2.414	0.933	1.927	2.580	2.684	0.936	3.675	2.521

From	To	Kapasitas	Jam ke-							
			17	18	19	20	21	22	23	24
1	2	130	66.426	66.006	65.534	65.692	66.024	66.794	67.318	67.756
1	3	32	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000	32.000
2	4	16	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
3	4	32	15.639	15.010	14.301	14.537	15.036	16.190	16.978	17.634
2	5	32	21.449	23.742	24.764	24.536	24.053	22.935	22.173	21.538
2	6	32	25.600	26.498	27.009	26.875	26.591	25.936	25.488	25.116
4	6	90	47.201	51.242	53.539	52.936	51.661	48.710	46.698	45.021
5	7	32	21.449	23.742	24.764	24.536	24.053	22.935	22.173	21.538
6	7	70	28.196	35.346	38.288	37.675	36.382	33.386	31.344	29.642
6	8	90	64.588	66.804	69.366	68.507	66.693	62.492	59.628	57.241
6	9	65	-14.445	-16.640	-17.834	-17.528	-16.882	-15.385	-14.365	-13.514
6	10	32	-8.254	-9.509	-10.191	-10.016	-9.647	-8.791	-8.208	-7.722
9	11	16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65	-14.445	-16.640	-17.834	-17.528	-16.882	-15.385	-14.365	-13.514
4	12	70	-25.543	-23.392	-22.124	-22.464	-23.181	-24.843	-25.976	-26.920
12	13	90	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000
12	14	16	8.494	9.368	9.808	9.701	9.473	8.947	8.588	8.289
12	15	65	5.671	7.825	8.328	8.299	8.237	8.095	7.999	7.918
12	16	32	17.662	15.682	14.767	14.977	15.421	16.448	17.149	17.732
14	15	32	-7.356	-7.092	-7.338	-7.216	-6.961	-6.369	-5.965	-5.629
16	17	16	8.203	5.859	4.535	4.882	5.614	7.308	8.464	9.427
15	18	70	28.906	27.635	27.581	27.500	27.328	26.931	26.661	26.435
18	19	65	15.613	13.830	13.201	13.311	13.545	14.086	14.455	14.763
19	20	16	-8.672	-11.390	-13.071	-12.610	-11.636	-9.381	-7.844	-6.563
10	20	32	21.965	25.194	27.451	26.798	25.419	22.226	20.049	18.235
10	17	65	14.804	18.034	20.354	19.675	18.242	14.924	12.661	10.776
10	21	65	-37.211	-39.702	-41.329	-40.871	-39.905	-37.668	-36.142	-34.871
10	22	65	-28.292	-30.015	-31.250	-30.889	-30.128	-28.365	-27.162	-26.160
21	22	90	-81.947	-86.160	-89.724	-88.621	-86.291	-80.897	-77.219	-74.154
15	23	90	-44.353	-47.470	-49.268	-48.792	-47.787	-45.461	-43.875	-42.553
22	24	32	-2.949	-2.605	-3.158	-2.906	-2.373	-1.139	-0.298	0.403
23	24	70	26.910	23.380	21.118	21.748	23.080	26.164	28.267	30.019
24	25	65	11.990	14.278	14.777	14.760	14.724	14.642	14.586	14.539
25	26	65	3.187	8.332	9.679	9.550	9.277	8.646	8.215	7.857
25	27	65	8.803	5.946	5.098	5.210	5.447	5.996	6.370	6.682
28	27	16	-9.386	-11.100	-12.678	-12.177	-11.120	-8.672	-7.002	-5.611
27	29	32	15.450	13.717	12.876	13.076	13.500	14.480	15.149	15.706
27	30	32	13.967	11.129	9.544	9.956	10.827	12.844	14.219	15.365
29	30	32	4.202	2.036	0.708	1.071	1.837	3.611	4.821	5.829
8	28	16	-12.103	-12.839	-13.597	-13.350	-12.827	-11.615	-10.789	-10.101
9	28	16	2.717	1.739	0.919	1.172	1.707	2.944	3.787	4.490

Tabel 9 Daya Saluran Kasus 3

From	To	Kapasitas	Jam ke-							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	2	130	68.121	68.087	68.121	68.116	68.007	67.701	67.876	67.205
1	3	32	31.879	31.913	31.879	31.884	31.993	32.000	32.000	32.000
2	4	16	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
3	4	32	18.759	18.544	18.759	18.727	18.043	17.551	17.815	16.807
2	5	32	20.115	20.358	20.115	20.151	20.925	21.071	19.469	19.771
2	6	32	23.926	24.072	23.927	23.948	24.411	24.587	24.005	24.361
4	6	90	39.669	40.323	39.669	39.766	41.848	42.640	40.020	41.623
5	7	32	20.115	20.358	20.115	20.151	20.925	21.071	19.469	19.771
6	7	70	26.625	27.270	26.625	26.720	28.774	28.964	23.866	24.274
6	8	90	52.221	53.129	52.221	52.355	55.248	57.077	56.178	59.875
6	9	65	-12.175	-12.489	-12.175	-12.222	-13.222	-13.591	-12.146	-12.901
6	10	32	-6.957	-7.137	-6.957	-6.984	-7.555	-7.766	-6.941	-7.372
9	11	16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65	-12.175	-12.489	-12.175	-12.222	-13.222	-13.591	-12.146	-12.901
4	12	70	-29.326	-28.959	-29.326	-29.272	-28.103	-27.633	-29.008	-28.055
12	13	90	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000	-86.000
12	14	16	7.593	7.708	7.593	7.610	7.976	8.086	7.496	7.721
12	15	65	7.313	7.348	7.314	7.319	7.430	7.077	5.382	4.676
12	16	32	18.807	18.588	18.807	18.775	18.078	17.919	19.290	18.961
14	15	32	-5.117	-5.244	-5.117	-5.136	-5.539	-5.912	-6.246	-6.998
16	17	16	11.222	10.859	11.222	11.169	10.013	9.566	11.089	10.178
15	18	70	26.075	26.162	26.075	26.087	26.364	26.834	27.933	28.875
18	19	65	15.415	15.299	15.415	15.397	15.030	15.094	16.408	16.531
19	20	16	-4.060	-4.546	-4.060	-4.132	-5.678	-6.354	-4.649	-6.021
10	20	32	14.720	15.409	14.720	14.822	17.013	18.094	16.174	18.366
10	17	65	7.228	7.941	7.228	7.333	9.605	10.753	8.859	11.187
10	21	65	-32.889	-33.365	-32.889	-32.959	-34.476	-35.187	-33.660	-35.104
10	22	65	-24.517	-24.893	-24.517	-24.572	-25.772	-26.380	-25.367	-26.601
21	22	90	-68.764	-69.922	-68.764	-68.935	-72.622	-74.696	-72.448	-76.647
15	23	90	-40.688	-41.186	-40.688	-40.761	-42.348	-42.982	-40.972	-42.263
22	24	32	0.026	-0.237	0.026	-0.013	-0.852	-1.587	-2.119	-3.603
23	24	70	32.702	32.040	32.702	32.604	30.497	29.536	31.719	29.767
24	25	65	13.240	13.258	13.241	13.243	13.298	12.885	11.072	10.247
25	26	65	7.175	7.311	7.175	7.195	7.629	6.942	2.958	1.589
25	27	65	6.065	5.947	6.066	6.048	5.669	5.943	8.114	8.658
28	27	16	-5.397	-5.917	-5.397	-5.473	-7.131	-8.111	-7.249	-9.234
27	29	32	15.279	15.071	15.279	15.249	14.584	14.401	15.584	15.207
27	30	32	15.389	14.959	15.390	15.326	13.954	13.431	15.282	14.217
29	30	32	6.259	5.879	6.259	6.203	4.993	4.467	5.831	4.762
8	28	16	-9.279	-9.539	-9.279	-9.318	-10.145	-10.653	-10.316	-11.342
9	28	16	3.882	3.622	3.883	3.844	3.014	2.542	3.067	2.108

From	To	Kapasitas	Jam ke-							
			9	10	11	12	13	14	15	16
1	2	130	66.662	66.417	68.518	68.646	68.990	68.554	68.044	66.330
1	3	32	32.000	32.000	31.481	31.354	31.010	31.446	31.956	32.000
2	4	16	16.000	16.000	14.542	14.497	13.812	14.404	15.314	16.000
3	4	32	15.994	15.626	15.042	15.649	14.886	14.678	15.359	15.495
2	5	32	10.778	8.152	2.602	1.659	2.377	5.096	8.720	14.335
2	6	32	21.648	20.991	18.153	17.861	17.511	18.695	20.619	23.003
4	6	90	29.417	26.462	19.886	18.763	20.101	22.912	27.699	35.514
5	7	32	10.778	8.152	2.602	1.659	2.377	5.096	8.720	14.335
6	7	70	-5.595	-14.621	-30.436	-33.551	-29.893	-21.682	-11.513	5.584
6	8	90	62.861	64.035	64.200	61.552	63.219	65.303	65.112	65.052
6	9	65	-4.802	-1.438	2.762	4.964	2.135	-0.786	-4.074	-9.186
6	10	32	-2.744	-0.822	1.578	2.837	1.220	-0.449	-2.328	-5.249
9	11	16	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9	10	65	-4.802	-1.438	2.762	4.964	2.135	-0.786	-4.074	-9.186
4	12	70	-28.583	-26.268	-22.662	-20.115	-23.397	-26.567	-29.529	-31.166
12	13	90	-78.000	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-74.500	-78.000	-86.000
12	14	16	4.642	4.147	4.862	5.559	4.758	3.941	4.133	5.973
12	15	65	-7.429	-9.730	-7.297	-3.736	-7.195	-11.044	-10.110	-3.464
12	16	32	24.193	25.161	25.504	25.079	25.322	25.694	25.403	23.441
14	15	32	-10.864	-11.715	-11.064	-9.655	-10.862	-12.302	-11.945	-10.016
16	17	16	14.939	15.695	16.000	16.000	16.000	16.000	15.808	13.899
15	18	70	36.116	37.693	37.514	35.704	37.032	38.768	38.182	35.252
18	19	65	23.111	24.389	24.157	22.944	23.931	25.144	24.697	21.842
19	20	16	-0.649	0.084	-0.245	-0.368	-0.004	0.255	0.061	-2.658
10	20	32	13.654	13.220	13.602	13.128	13.105	13.368	13.423	16.068
10	17	65	7.570	7.330	7.118	6.085	6.675	7.579	7.531	9.311
10	21	65	-27.887	-24.202	-20.585	-17.247	-20.519	-24.302	-27.537	-32.575
10	22	65	-22.568	-20.491	-18.345	-16.074	-18.190	-20.695	-22.573	-25.563
21	22	90	-71.654	-68.974	-65.537	-60.189	-64.610	-70.151	-72.919	-77.706
15	23	90	-31.717	-26.117	-22.343	-21.219	-21.364	-25.446	-29.902	-37.480
22	24	32	-11.665	-14.775	-17.814	-18.219	-16.751	-16.748	-13.471	-8.891
23	24	70	32.947	30.307	26.038	24.475	26.055	29.550	33.206	33.689
24	25	65	-4.901	-11.014	-19.088	-20.073	-17.592	-14.935	-7.790	1.789
25	26	65	-25.806	-34.246	-48.610	-49.971	-47.822	-41.710	-32.204	-16.894
25	27	65	20.906	23.232	29.522	29.898	30.230	26.775	24.414	18.683
28	27	16	-10.823	-12.418	-12.925	-11.241	-11.433	-14.073	-11.564	-9.999
27	29	32	19.729	20.105	20.451	19.599	20.088	20.826	20.628	19.263
27	30	32	20.353	20.709	21.177	20.321	20.813	21.552	21.353	19.421
29	30	32	8.724	8.848	9.149	8.802	9.002	9.299	9.218	7.916
8	28	16	-12.169	-12.717	-12.860	-12.064	-12.364	-13.294	-12.686	-12.315
9	28	16	1.345	0.299	-0.065	0.822	0.931	-0.779	1.122	2.316

RIWAYAT HIDUP



Annisaa Taradini dilahirkan di Jakarta pada 14 Desember 1993. Penulis adalah putri kedua dari tiga bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dasar di Sekolah Alam pada tahun 1999-2003 dan SDIT Al Hikmah pada tahun 2003-2005. Penulis kemudian melanjutkan sekolah di SMP I Assalam pada tahun 2005-2008 dan melanjutkan pendidikan menengah atas di SMAN 28 Jakarta pada tahun 2008-2011. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan studi S1 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya jurusan Teknik Elektro. Bidang studi yang penulis ambil yaitu Teknik Sistem Tenaga. Penulis kemudian melanjutkan program Pasca Sarjana pada kampus dan bidang yang sama pada 2015.